БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

ФАКУЛЬТЕТ КОМПЬЮТЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

МАТЕРИАЛЫ

62-Й НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
АСПИРАНТОВ, МАГИСТРАНТОВ И СТУДЕНТОВ БГУИР
ПО НАПРАВЛЕНИЮ

ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ



МИНСК 2026

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Факультет компьютерного проектирования

Материалы 62-й научной конференции аспирантов,
магистрантов и студентов БГУИР

по направлению

ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

(Республика Беларусь, г. Минск, 13–17 апреля 2026 года)

Научное электронное издание

Минск БГУИР 2026

ISBN 978-985-543-889-3

© УО «Белорусский государственный
университет информатики
и радиоэлектроники», 2026

УДК 621.38

Редакционная коллегия:

П. В. Камлач – и. о. декана факультета компьютерного проектирования, кандидат технических наук, доцент;

Г. А. Пискун – заместитель декана факультета компьютерного проектирования, кандидат технических наук, доцент;

В. Ф. Алексеев – доцент кафедры проектирования информационно-компьютерных систем, кандидат технических наук, доцент;

Т. В. Казак – заведующий кафедрой инженерной психологии и эргономики, доктор психологических наук, профессор;

В. Л. Ланин – профессор кафедры электронной техники и технологии, доктор технических наук, профессор;

А. Н. Петлицкий – директор государственного центра «Белмикроанализ» научно-технического центра «Белмикросистемы» ОАО «ИНТЕГРАЛ», кандидат физико-математических наук

Опубликованы материалы докладов, представленных на 62-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР по направлению «Электронные системы и технологии». Авторами рассматриваются вопросы имитационного моделирования, численных методов, новых информационных технологий в образовании, радиоэлектронике, телекоммуникациях, вычислительных сетях, а также возможности современных систем автоматизированного проектирования.

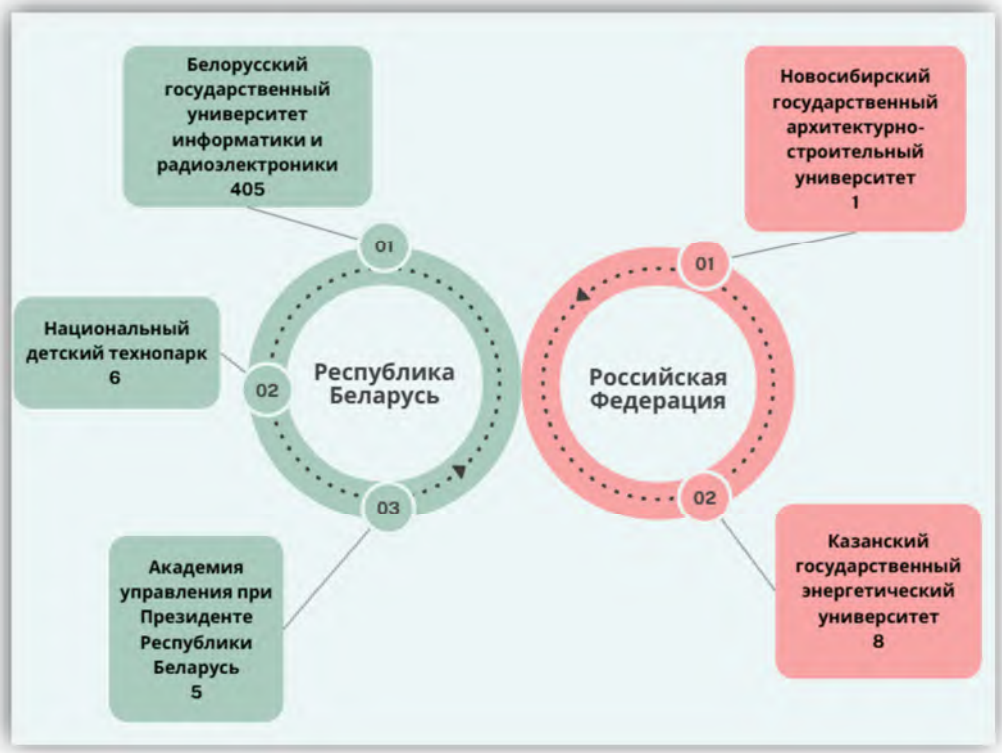
Материалы одобрены оргкомитетом и публикуются с учетом того, что авторская позиция и стилистические особенности публикаций полностью сохранены при соблюдении требований к оформлению.

Сборник предназначен для широкого круга специалистов в области электронных систем и технологий, а также будет полезен научным и инженерно-техническим работникам, преподавателям, аспирантам, магистрантам и студентам технических вузов.

Системные требования: программа для просмотра PDF-файлов.

© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2026

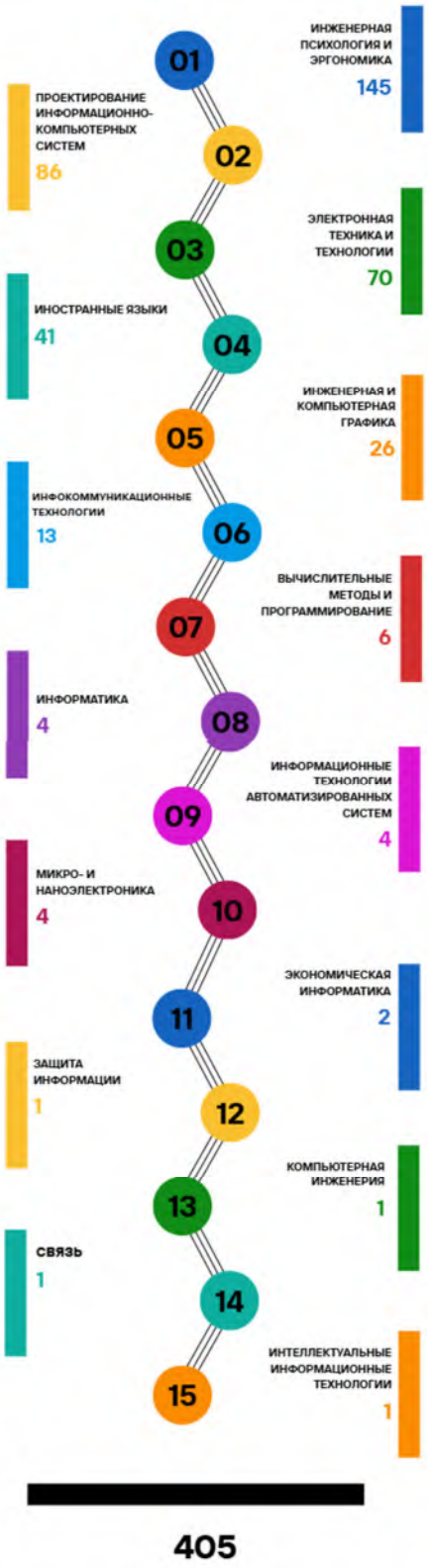
УЧРЕЖДЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ, ПРИНЯВШИЕ УЧАСТИЕ В КОНФЕРЕНЦИИ



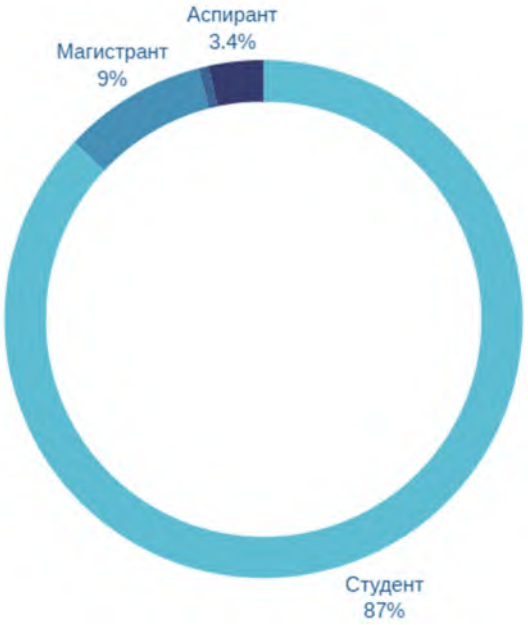
УЧАСТНИКИ КОНФЕРЕНЦИИ (ПО СЕКЦИЯМ)



УЧАСТНИКИ КОНФЕРЕНЦИИ ПО КАФЕДРАМ



УЧАСТНИКИ КОНФЕРЕНЦИИ



НАУЧНЫЕ РУКОВОДИТЕЛИ



СЕКЦИЯ «ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ»

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПАССИВНЫХ РАДИАТОРОВ ДЛЯ ЦИФРОВЫХ МИКРОСХЕМ В РАЗНЫХ ТИПАХ КОРПУСОВ (QFP, BGA, QFN)
Яцкевич Я.С. 49

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ БИБЛИОТЕК PPL И TPL ДЛЯ РЕШЕНИЯ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ
Русецкий А.Д. 52

ПРИМЕНЕНИЕ РАСШИРЕННЫХ БИОМЕТРИЧЕСКИХ ШАБЛОНОВ ДЛЯ УЧЕТА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ПРИ ИДЕНТИФИКАЦИИ
Косарева Е.М., Кожевников Д.О. 57

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО ПОИСКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ДЛЯ ТОРГОВЛИ НА МАРКЕТПЛЕЙСАХ
Крино О.С. 60

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ БАНКОВСКОГО МОШЕННИЧЕСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИБРИДНЫХ АЛГОРИТМОВ
Правоторова А.Ю. 64

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИТОВОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ В ИНФОРМАЦИОННО-КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМАХ НА ПРИМЕРЕ ЗАДАЧИ О РЮКЗАКЕ 0-1
Марковец Р.С. 67

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ НЕЧЕТКОГО СРАВНЕНИЯ СТРОК ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОНЛАЙН-ВИКТОРИН
Лямцев Г.К. 70

ИНСТРУМЕНТЫ МОНИТОРИНГА ДИНАМИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ ХРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ
Котько Е.Н. 73

МОДЕЛИ И АРХИТЕКТУРЫ ДИНАМИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛЁННЫХ СИСТЕМ ХРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ
Котько Е.Н. 77

СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ОХЛАЖДЕНИЯ СМАРТФОНОВ: АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
Яромченко А.Г 81

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ГЕНЕРИРОВАНИЯ СТАНДАРТНЫХ РАВНОМЕРНЫХ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ
Алексеев С.А. 85

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО РЕАЛИЗАЦИИ ЦИФРОВОГО СЕРВИСА «МОБИЛЬНЫЙ КАБИНЕТ АБОНЕНТА» ДЛЯ СФЕРЫ ЖКХ
Чехомов Е.Г. 88

ROI АВТОМАТИЗАЦИИ: ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ
Кондратенко Е.В., Шиш П.А. 91

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ДОСТУПНОСТИ КАК ЧАСТЬ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ
Концевая В.Д., Толстенков И.А. 94

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ РАБОЧЕГО МЕСТА СПЕЦИАЛИСТА ОТДЕЛА СТАЖИРОВОК IT-КОМПАНИИ НА ОСНОВЕ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ФУНКЦИОНАЛА СИСТЕМ КЛАССА TMS
Косович П.В. 97

АНАЛИЗ И ВЫБОР МЕТРИК ДЛЯ ОЦЕНКИ МОДЕЛЕЙ СЕМАНТИЧЕСКОГО СРАВНЕНИЯ: ОТ БАЗОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДО РАНГОВЫХ МЕТРИК
Крез К.С., Хлистунова К.В., Кузьмичкина Д.А. 100

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ДОСТУПНОСТЬ (ACCESSIBILITY) КАК ГАРАНТИРОВАТЬ УДОБСТВО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОДУКТА ДЛЯ ЛЮДЕЙ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ
(НА БАЗЕ СТАНДАРТА WCAG)
Хлистунова К.В., Кузьмичкина Д.А. 105

АНАЛИЗ СУБПАНЕЛИ АВИАЛАЙНЕРА *AIRBUS A*320
НА СООТВЕТСТВИЕ ТРЕБОВАНИЯМ ИНЖЕНЕРНОЙ ПСИХОЛОГИИ
Маханьков Д.Д., Рудько В.В. 108

АГЕНТНЫЕ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ REASONING-LLM ДЛЯ
АВТОМАТИЗАЦИИ ЦИКЛА МАРКЕТИНГОВЫХ КАМПАНИЙ
В ЭЛЕКТРОННОЙ КОММЕРЦИИ
Нуансенгси Д.В. 112

СИНТЕТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ РЕКЛАМНЫХ
МОДЕЛЕЙ
В ЭЛЕКТРОННОЙ КОММЕРЦИИ: МЕТОДЫ ГЕНЕРАЦИИ,
ПРИВАТНОСТЬ И ОГРАНИЧЕНИЯ
Нуансенгси Д.В. 116

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАДЁЖНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ
ТЕХНИКИ ПО ИНФОРМАТИВНЫМ ПАРАМЕТРАМ МЕТОДОМ
ПОРОГОВОЙ ЛОГИКИ
Романович С.А., Сурков В.Д., Тихонович А.В. 119

RSVP В ОРГАНИЗАЦИИ КОРПОРАТИВНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ:
ВЛИЯНИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЛАНИРОВАНИЯ
И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА
Цымбал Н.О. 123

ОПТИМИЗАЦИЯ ОБЛАЧНЫХ ХРАНИЛИЩ ДАННЫХ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМОВ ДЕДУПЛИКАЦИИ
ИЗОБРАЖЕНИЙ
Вегера К.С. 126

СРАВНЕНИЕ МЕТОДА ПОЛНОГО ПЕРЕБОРА СОСТОЯНИЙ
И МЕТОДА СВЕРТКИ ПРИ ОЦЕНКЕ НАДЁЖНОСТИ
РЕЗЕРВИРУЕМОГО УЗЛА
СО СМЕШАННЫМ СОЕДИНЕНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ
Зацепина М.И., Силенкова Д.С. 129

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ И КОРРЕКЦИЯ
МУЗЫКАЛЬНОГО ФОНА В ОБЩЕСТВЕННЫХ МЕСТАХ НА ОСНОВЕ
ПСИХОАКУСТИЧЕСКИХ ДЕСКРИПТОРОВ И ИНСТРУМЕНТОВ
ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ
Зинковская Е.В. 132

МЕТОДЫ ДИНАМИЧЕСКОЙ АГРЕГАЦИИ ГРУППОВЫХ ПРЕДПОЧТЕНИЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ МУЗЫКАЛЬНОГО ПЛЕЙЛИСТА С УЧЕТОМ КОНТЕКСТНЫХ ФАКТОРОВ
Зинковская Е.В. 134

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ *PWM* И *MPPT* В КОНТРОЛЛЕРАХ ЗАРЯДА СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ
Куделич К.С. 137

ФОРМИРОВАНИЕ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ НА АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОФИЛЯХ ПРИ МАЛЫХ ЧИСЛАХ РЕЙНОЛЬДСА
Бавбель Е.И. 140

БАРОМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫСОТЫ ПОЛЕТА БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ
Бавбель Е.И. 144

МОДЕЛИРОВАНИЯ СОБСТВЕННОЙ ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЙ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ МНОГОКАНАЛЬНОГО КОНТРОЛЛЕРА УПРАВЛЕНИЯ СЕРВОМОТОРАМИ
Быстров М.Ю. 147

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛИРОВАНИЯ СОБСТВЕННОЙ ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЙ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ МОЩНОГО POWER BANK ДЛЯ НОУТБУКА И ГАДЖЕТОВ В ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСАХ SOLIDWORKS И COMSOL
Ходас В.А. 152

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОЩНОГО HI-FI УСИЛИТЕЛЯ ЗВУКА НА ОСНОВЕ МИКРОСХЕМЫ STK4231 В ГЕРМЕТИЧНОМ КОРПУСЕ
Коротков А.А. 155

АНАЛИЗ МОДЕЛИРОВАНИЯ СОБСТВЕННОЙ ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЙ ОТЛАДОЧНОЙ ПЛАТЫ С МИКРОКОНТРОЛЛЕРОМ MG32F103RBT6
Кот Я.А. 160

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА В ГЕРМЕТИЧНОМ И ПЕРФОРИРОВАННОМ КОРПУСАХ ДЛЯ ПЛАТЫ USB-UART АДАПТЕРА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ SOLIDWORKS
Мерзляков Д. П. 164

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ УПРАВЛЯЕМОГО СЕТЕВОГО КОНЦЕНТРАТОРА В ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСАХ SOLIDWORKS И ANSYS
Насанович М.В. 168

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ ВЫСОКОСТАБИЛЬНОГО ТЕРМОСТАТИРОВАННОГО ГЕНЕРАТОРА С ЦИФРОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ
Петкевич Д.В. 173

ЧАСТОТНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЭЛЕКТРОННЫЙ МОДУЛЬ ПРОГРАММИРУЕМОГО ЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЛЕРА
Сенько Е.В. 176

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЗАРЯЖЕННОЙ ЧАСТИЦЫ В СКРЕЩЕННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ И МАГНИТНОМ ПОЛЯХ МЕТОДОМ РУНГЕ-КУТТЫ 4-ГО ПОРЯДКА
Шибаев И. С. 180

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ ДЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ
Зубарь Д.С. 183

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК В СИСТЕМАХ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ
Ефремова А.Ю. 183

СЕКЦИЯ «ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ»

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА ПАРАМЕТРОВ ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ
Лужинский А.В. 192

ПОРТАТИВНЫЙ АППАРАТ ИСКУССТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ЛЕГКИХ
Богданович В.В. 196

АМПЕРОМЕТРИЧЕСКИЙ ГЛЮКОМЕТР С МОБИЛЬНЫМ ПРИЛОЖЕНИЕ
Немченкова А.Д. 199

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИИ-АССИСТЕНТОВ В СИСТЕМАХ ЖИДКОСТНОЙ ЦИТОЛОГИИ ДЛЯ СОКРАЩЕНИЯ ВРЕМЕНИ ЧТЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ
Печёнов М.С. 202

ПОРТАТИВНЫЙ 3-Х КАНАЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФ С WI-FI МОДУЛЕМ
Блажко У.С. 205

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ НЕИНВАЗИВНОГО ИЗМЕРЕНИЯ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ
Степанюк Е. О. 208

ТЕХНОЛОГИЯ МОДИФИКАЦИИ ДЕТАЛЕЙ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ НА 3Д ПРИНТЕРЕ
Юшко Д.Е. 210

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОНТАКТНОЙ МИКРОСВАРКИ ПРИ МОНТАЖЕ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ
Рахлин М.Е. 215

АНАЛИЗ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ЖЕВАТЕЛЬНЫХ МЫШЦ ПОСЛЕ ПРОВЕДЕНИЯ СТИМУЛЯЦИИ ИМПУЛЬСНЫМИ МАГНИТНЫМИ ПОЛЯМИ
Круглик Е. В. 218

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКА ВОЗДУХА
Даревский Т.Д. 221

МЕТОДИКА ВРЕМЕННОГО АНАЛИЗА ЭМГ ДЛЯ ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ НА ПРИМЕРЕ ЖЕВАТЕЛЬНОЙ МЫШЦЫ
Швед И.А. 224

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ НИЖНЕЙ ЧЕЛЮСТИ И ШЕЙНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА
Горбачёв А. А. 226

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ЧАСТОТНОГО АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ
Ермакович М. А. 228

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЦЕЛОСТНОСТИ СИГНАЛОВ В ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ИНТЕРФЕЙСАХ
Жук Е.В. 230

ТЕХНОЛОГИЯ СНИЖЕНИЯ ТОКОВ УТЕЧКИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ AlGaN/GaN ТРАНЗИСТОРОВ МЕТОДОМ КОМБИНИРОВАННОЙ LPCVD-ПАССИВАЦИИ И ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ИЗОЛЯЦИИ
Жук Е.В. 233

ФОРМИРОВАНИЕ ВЫСОКООМНЫХ РЕЗИСТИВНЫХ ПЛЕНОК ОКСИДА И НИТРИДА КРЕМНИЯ-ТИТАНА МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ
Александрович П. А., Бохань Л. 236

МОДЕЛЬ МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ ПРИ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИИ
Гладких А.П., Сакович М.С., Соловьев А.Я. 239

МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ БОЛЕВЫХ СИНДРОМОВ
Стасенко М.И. 243

ПРОГРАММНО-УПРАВЛЯЕМОЕ УСТРОЙСТВО УДАЛЁННОГО МОНИТОРИНГА ХОЛОДИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМ АНАЛИЗОМ ПАРАМЕТРОВ
Бобровский П.Д. 246

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА НИКЕЛЕВЫХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ В УСЛОВИЯХ НЕСТАЦИОНАРНОГО ЭЛЕКТРОЛИЗА
Ордо С.В. 251

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ДЫХАНИЯ
Жуковский Н.Е. 255

ИНТЕНСИВНОСТЬ СУБГАРМОНИКИ $F_0/2$ В СПЕКТРЕ КАВИТАЦИОННОГО ШУМА ПРИ КОЛЛЕКТИВНЫХ КОЛЕБАНИЯХ ПУЗЫРЬКОВ В КАВИТАЦИОННОЙ ОБЛАСТИ
Курлюк Е.А., Лебедь А.А., Бойдич А.В. 259

ОБЗОР ТЕХНОЛОГИИ *BOSCH PROCESS* КАК ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО МЕТОДА ТРАВЛЕНИЯ
Барковская К.Н. 262

СИСТЕМА НЕЙРОСЕТЕВОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ЭКГ С ON-PREM ВЕБ-ШЛЮЗОМ
Ларченко Н.А. 266

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ МОДУЛЬ КОНТРОЛЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ
Козинцова Е.А. 269

ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФ НА БАЗЕ МОДУЛЯ ADS1298ECG-FE
Протасеня И. А. 272

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭРОЗИИ ТВЕРДЫМИ ЧАСТИЦАМИ НА УДЕЛЬНЫЙ РАСХОД ТОПЛИВА ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ
Расчислова С.А. 275

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ВРАЧЕБНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПНЕВМОНИИ НА ОСНОВЕ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ
Кошеленков А.Н. 278

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ДИАГНОСТИКЕ ДИСФУНКЦИЙ ВНЧС
Засинец Ю.А., Хуцишвили В.А. 280

РАЗРАБОТКА «БРЕЙН-СИСТЕМЫ» ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИГР
Савченко М.Е. 283

ЭФФЕКТ ПАМЯТИ ФОРМЫ В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВАХ И ЕГО МЕДИЦИНСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ
Левоненко Ю.И., Медюха А.Е. 286

ВЫРАЩИВАНИЯ АЛМАЗНЫХ ПОДЛОЖЕК МЕТОДОМ ХИМИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ ИЗ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ
Полубок А. В., Москаленко К. А. 289

ПРОБЛЕМЫ СБОРА ДАННЫХ О КАЧЕСТВЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА И МЕТОДЫ ИХ РЕШЕНИЯ
Новиков Д.А. 291

РАЗРАБОТКА ШПРИЦЕВОГО ВНУТРИВЕННОГО ИНФУЗИОННОГО НАСОСА
Сенкевич М.В. 295

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ И ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ПРЕДСТЕРИЛИЗАЦИОННОЙ ОЧИСТКИ
Важник М.А. 298

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ЛИТОГРАФИИ В МИКРОЭЛЕКТРОНИКЕ
Шульга А.А. 300

УДАЛЕНИЕ ФОТОРЕЗИСТА В ПЛАЗМЕ СВЧ С ПЛАСТИН БОЛЬШИХ ПЛОЩАДЕЙ
Масейкова Д.Д. 302

ОБЗОР МЕТОДОВ СЕГМЕНТАЦИИ МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ
Смольская Т.С., Друц Э.В. 305

ПСИХОДИАГНОСТИЧЕСКОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕСТИРОВАНИЯ, ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ И ОЦЕНКИ ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА
Гоман В.В. 309

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ВНЕПОЛОСНОГО ПОДАВЛЕНИЯ КОМПАКТНЫХ ВХОДНЫХ ПОЛОСОВЫХ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ БЕСПРОВОДНЫХ И IoT-УСТРОЙСТВ
Марченко Т.В. 312

ВЛИЯНИЕ ПАРАЗИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПЕЧАТНОГО МОНТАЖА И ТОПОЛОГИИ ЗЕМЛИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛОСОВОГО LC-ФИЛЬТРА
Марченко Т.В. 316

МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ОБУЧАЮЩЕГО НАБОРА ДАННЫХ ДЛЯ СЕГМЕНТАЦИИ СТРУКТУР СРЕДНЕГО И ВНУТРЕННЕГО УХА НА КТ-ИЗОБРАЖЕНИЯХ
Смольская Т.С., Друц Э.В. 320

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕРФЕЙСА NFC В ИМПЛАНТИРУЕМЫХ МЕДИЦИНСКИХ ДАТЧИКАХ
Сокольчик М. А. 323

ИНЪЕКЦИОННЫЕ НЕЙРО–НАНОЭЛЕКТРОННЫЕ СЕТИ: К МИНИМАЛЬНО ИНВАЗИВНЫМ МОЗГОВЫМ ИНТЕРФЕЙСАМ ДЛЯ ТОЧНОЙ НЕЙРОМОДУЛЯЦИИ
Ахмед Сохайб А. Ф. 326

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОНОМНЫХ НОСИМЫХ БИОСЕНСОРНЫХ СИСТЕМ С САМОПИТАНИЕМ ДЛЯ ДЛИТЕЛЬНОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ
Ахмед Сохайб А. Ф. 329

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИФРОВОЙ ПАЯЛЬНОЙ СТАНЦИИ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПАЯЛЬНИКА ПРИ МОНТАЖЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ
Нестерович Е.А. 334

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ НАРУШЕНИЯ СЕРДЕЧНОГО РИТМА
Карпинчик Г.А. 338

СИСТЕМА СКРИНИНГОВОЙ ДИАГНОСТИКИ НЕЙРОДЕГЕНЕРАТИВНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ГРАФИЧЕСКИХ ПАТТЕРНОВ
Близнюк В.Д. 341

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВТОРИЧНЫХ ИОННЫХ ПУЧКОВ И ПОТЕНЦИАЛА ДИАФРАГМЫ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ТИТАНА
Перепечко Е.Ю. 344

THE EFFECT OF COLD PLASMA ON THE INHIBITION OF THE GENUS STAPHYLOCOCCUS BACTERIA
Provlockaya D.V., Panfilenko E.D. 347

GSM-КОНТРОЛЛЕР ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫМ ТЕПЛОВЫМ ПУНКТОМ
Бурлыко А.И. 352

ТЕРМОРЕГУЛЯТОР ПРОГРАММИРУЕМЫЙ С ЖК-ДИСПЛЕЕМ
Селивоненко Ю.В. 355

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ПЛАЗМЫ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ФОТОРЕЗИСТА С ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛАСТИН
Коваленко И.А. 357

ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ И ЕГО ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ОБЛАСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ
Тарногурская А.Д., Борисюк А.О. 360

СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ КРИСТАЛЛОВ
Навумчик П.А. 363

ИЗМЕРИТЕЛЬ ТОКА НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТА ХОЛЛА С ЦИФРОВЫМ ИНТЕРФЕЙСОМ
Раткевич И.И. 367

ВЛИЯНИЕ ВИДА ВОЗБУЖДАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭНЕРГИИ В ОБЪЁМЕ РЕЗОНАТОРА СВЧ-ПЛАЗМАТРОНА
Шавня Д.С. 370

АЛГОРИТМ ФИЛЬТРАЦИИ КАЛМАНА ДЛЯ ОЧИСТКИ СИГНАЛА ФОТОЭЛЕКТРОННЫХ ДАТЧИКОВ В УСЛОВИЯХ ВИБРАЦИЙ ЛИТОГРАФИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ
Ахметзянов Г.Д. 375

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ СКОРОСТИ ИОННО-ЛУЧЕВОГО ТРАВЛЕНИЯ КВАРЦА ПРИ ВАРЬИРОВАНИИ УГЛА НАКЛОНА ИОННОГО ПУЧКА
Ходяков И.В. 379

ВСТРАИВАЕМЫЙ МОДУЛЬ РАСШИРЕНИЯ USB
Логвинов Д.С. 382

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДВУХСЛОЙНОГО ПРОСВЕТЛЯЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ Al_2O_3/MgF_2 НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ
Макарцов И.О. 385

НАНЕСЕНИЕ ДВУХСЛОЙНОГО ПРОСВЕТЛЯЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ Al_2O_3/MgF_2 МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО ИСПАРЕНИЯ С ИОННЫМ АССИСТИРОВАНИЕМ
Макарцов И.О. 389

ФОРМИРОВАНИЕ ФТОРУГЛЕРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ, ЛЕГИРОВАННЫХ АЗОТОМ
Потылкин А.Н. 393

ОКНО В НАНОМИР
Ляшко М.С., Гурина Т.Д. 397

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА РАБОЧЕГО ГАЗА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ФТОРУГЛЕРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРЯМЫМ ОСАЖДЕНИЕМ ИЗ ИОННЫХ ПУЧКОВ
Курбако Е.Г. 402

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ПРОГРАММИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОЛИЗА НА ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИКОМПОЗИЦИОННЫХ НИКЕЛЕВЫХ ПОКРЫТИЙ
Ордо С.В. 405

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СВЧ ПОЛЯ ВНУТРИ КОЛЬЦЕВОГО ВОЛНОВОДА
Барковская К.Н. 408

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ НИКЕЛИРОВАНИЕ ЗАЩИТНЫМ ПОКРЫТИЕМ АЛЮМИНИЕВЫХ КОРПУСОВ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ
Свирид Н.М. 411

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАИИ ПАРАМЕТРОВ ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ
Коваленко А.В. 415

СЕКЦИЯ «ИНЖЕНЕРНАЯ ПСИХОЛОГИЯ И ЭРГОНОМИКА»

СТУДЕНЧЕСКИЙ ЛИТЕРАТУРНЫЙ ФОРУМ И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
Билида Е.А. 420

ELASTICSEARCH. ПЕРЕХОД К NOSQL РЕШЕНИЯМ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ЭФФЕКТИВНОГО ПОИСКА В БОЛЬШИХ ДАННЫХ
Бабич А.С. 423

ОНЛАЙН-ПЛАТФОРМА ДЛЯ ПОДБОРА И ПОКУПКИ КНИГ
Бычек Е.Н. 426

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПЛАНИРОВАНИЯ И МОНИТОРИНГА КОНЦЕПЦИИ ЛИЧНОСТНОЙ ПРОГРАММЫ ПО ПОВЫШЕНИЮ ПРИВЕРЖЕННОСТИ К ЗДОРОВОМУ ОБРАЗУ ЖИЗНИ
Долголев И.Э. 429

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ РАЗДЕЛЬНОГО СБОРА ОТХОДОВ В МОСКОВСКОМ РАЙОНЕ
Фролов М.А., Кузьмич Д.С. 432

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ МИКРОСЕРВИСНОЙ АРХИТЕКТУРЫ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СОВМЕСТНЫХ ФОТОАЛЬБОМОВ
Глушко А.Ю. 435

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СТРАХОВАНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ НА БАЗЕ SPRING FRAMEWORK
Говша Ю.В. 438

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ТЕСТИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ПОЗНАВАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ И ЕЁ ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
Иванчик А.А. 441

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СОТРУДНИКОВ И ОЦЕНКИ РИСКА ВЫГОРАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ
Изотова А.С. 443

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ «КАЛЕНДАРЬ ВРАЧЕБНЫХ НАЗНАЧЕНИЙ»
Хоружик Е. В. 446

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ «СЛУЖБА ДОСТАВКИ ЕДЫ» И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
Князева Е.Н. 449

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ КООРДИНАЦИИ БЫТОВОЙ ВЗАИМОПОМОЩИ В РАМКАХ ЖИЛОГО КОМПЛЕКСА
Курбатский В.С. 452

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО НОРМОКОНТРОЛЯ СТУДЕНЧЕСКИХ РАБОТ В БГУИР И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
Курильчик А.В. 455

МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ТУРИСТИЧЕСКИХ ПУТЕШЕСТВИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ПРЕДПОЧТЕНИЙ И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
Лагутенков П.В. 458

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ
Лойко А.И. 461

СИСТЕМА VR-МУЗЕЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ С ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМ ГИДОМ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА
Масленко В.А., Малико Е.В. 464

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ГИБКИХ НАВЫКОВ РАБОТНИКОВ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА БАЗЕ ФРЕЙМВОРКОВ REACT, NEXT.JS
Муха Е.А. 467

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ПЕРСОНАЛИЗАЦИИ ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЙ
Огиенко Н.Д. 470

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ОФОРМЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАКАЗОВ В СФЕРЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
Писаренко Я.Д. 473

ИНЕРЦИОННЫЙ СЕПАРАТОР ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК
Абдуллина А.А. 476

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЛИЧНЫМИ ФИНАНСАМИ С АНАЛИТИКОЙ РАСХОДОВ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕМ БЮДЖЕТА
Бакун А.А. 480

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ
Близнюк А.А. 483

ОСОБЕННОСТИ АДАПТАЦИИ КОГНИТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ СТУДЕНТА К ВНЕШНИМ ДИСТРАКТОРАМ В УСЛОВИЯХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
Букшта С.А., Попов С.А. 486

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ПОДБОРА И БРОНИРОВАНИЯ ЭКСКУРСИЙ И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
Буяновская А.В. 489

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ УЧЕТА И АНАЛИЗА ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ
Чирич Е.Д. 491

ПРОГРАММНЫЙ ПРОДУКТ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЦИФРОВИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕСЫЛКИ ПОЧТОВЫХ ОТПРАВЛЕНИЙ И ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ
Гоков Е.В. 495

ОБРАЗ ЖИЗНИ КАК ФАКТОР ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО БЛАГОПОЛУЧИЯ И УЧЕБНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТУДЕНТОВ
Горбель А. А. 498

ОЦЕНКА ТРАНСПОРТНОЙ НАГРУЗКИ КАК ИСТОЧНИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА НА ПРИМЕРЕ КЛЮЧЕВОЙ МАГИСТРАЛИ Г. МИНСКА
Ишеков А.М. 501

ВЛИЯНИЕ КОРОТКИХ РЕГУЛЯРНЫХ ПЕРЕРЫВОВ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ IT-СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ
Касперец Е. А., Бельский М. Д. 504

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ЗНАНИЙ СОТРУДНИКОВ ДЕПАРТАМЕНТА ОХРАНЫ И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
Клещенко И.С. 506

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОДБОРА КОМПЛЕКТУЮЩИХ АВТОМОБИЛЯ
Князева Е.С. 509

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ПОДБОРА И АНАЛИЗА ТЕАТРАЛЬНЫХ ПОСТАНОВОК
Кругликов П.А. 512

ВЕБ-ПЛАТФОРМА ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ И ОБСУЖДЕНИЯ ПРОИЗВЕДЕНИЙ СОВРЕМЕННОЙ ХУДОЖСТВЕННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ЕЁ ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
Любецкий А.Д. 514

МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ МЕНТАЛЬНОГО И ФИЗИЧЕСКОГО ЗДОРОВЬЯ СОВРЕМЕННОГО ОБЩЕСТВА
Макаров К.С. 516

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АНАЛИЗА ДИНАМИКИ РАДИАЦИОННОГО ФОНА НА ПРИМЕРЕ ГОРОДОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Муравьёв Д.А., Лакотко В.А. 519

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ТРЕНИРОВКИ ПАМЯТИ И ВНИМАНИЯ С ФУНКЦИЕЙ АДАПТАЦИИ ИНТЕРФЕЙСА ПОД ОСОБЕННОСТИ ВОСПРИЯТИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
Павлова А.Д. 522

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ
НА ПРОМЫШЛЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ ПРИ ПОМОЩИ RFID
Прокопенко Д.В. 525

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОНЛАЙН-ПЛОЩАДКИ
ДЛЯ ЧАСТНЫХ ОБЪЯВЛЕНИЙ И ЕЁ ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЕ
Пуренков Е.Ф. 528

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ДЕГРАДАЦИИ
ЗЕМЕЛЬ В РЕЗУЛЬТАТЕ РЕКРЕАЦИОННОЙ НАГРУЗКИ НА ПРИМЕРЕ
ГОРОДСКОГО ПАРКА ИЛИ ЛЕСОПАРКА
Пушистова Е.С. 530

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ МОНИТОРИНГА
ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА В ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕПЛИЦАХ
ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ВЕГЕТАЦИИ
Семенько Е.А. 533

ДИНАМИКА РАСПРОСТРАНЕННОСТИ КУРЕНИЯ СРЕДИ
СТУДЕНЧЕСКОЙ МОЛОДЕЖИ
Шпак М.Е., Гладкевич А.А. 535

ОЦЕНКА ЖИЗНЕННОГО СОСТОЯНИЯ ДРЕВЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ
ВДОЛЬ АВТОМАГИСТРАЛЕЙ Г. МИНСКА МЕТОДОМ
ВИЗУАЛЬНОГО АНАЛИЗА
Шумилов А. А. 538

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ СРЕДЫ В VR
ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ НАВЫКОВ УЧАЩИХСЯ
Страчинский Я.С., Ошкин С.Е. 541

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ «КИНОДНЕВНИК» И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЕ
Вальмус У.М. 544

ПРИМЕНЕНИЕ NLP-МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ «ТОКСИЧНОГО»
ПОВЕДЕНИЯ В ЧАТАХ
Василевский В. В., Пущик Е. А. 547

СОЛНЕЧНЫЙ ТРЕКЕР С АВТОМАТИЧЕСКИМ НАВЕДЕНИЕМ
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ
Яблонская А.А., Помахо А.В. 550

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ
Жарский Е.А. 553

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ВЕТЕРИНАРНОЙ КЛИНИКИ СО ВСТРОЕННЫМ ТОРГОВЫМ МОДУЛЕМ И ЕЕ ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
Жданович А.Н. 556

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ АБОНЕНТОВ ОПЕРАТОРА СВЯЗИ
Анисенко Т.А. 559

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ АРЕНДЫ КАРШЕРИНГА
Антонович Д.А. 562

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ РАБОТЫ ШКОЛЫ ТАНЦЕВ И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
Борейко А.А. 565

ВЕБ-СЕРВИС ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ РАБОТЫ АУКЦИОНА ДЛЯ КУПЛИ-ПРОДАЖИ АВТОМОБИЛЕЙ ИЗ-ЗА РУБЕЖА
Борисов Н.В. 568

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЛИЧНОСТНОГО РОСТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНИК ТАЙМ-МЕНЕДЖМЕНТА И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
Бужинский И.И. 571

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВЕБ-РЕСУРСА ОБЩЕСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ: АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ И РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ ДЛЯ САЙТА GREENCROSS.BY
Фролов М.А., Говор Г.Г. 574

СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОГО ОБМЕНА И УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ К КОРПОРАТИВНЫМ ДОКУМЕНТАМ
Гичан А.Р. 577

ВЛИЯНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАДЖЕТОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТУДЕНТОВ
Канунникова В.В., Майданюк А.С. 580

ДЕСКТОПНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПОМЕЩЕНИЯ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРА И АНАЛИЗА РАБОТЫ ПОЖАРНЫХ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ
Лукашевич А.Д., Тукайло М.А. 583

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ФИКСАЦИИ И АНАЛИЗА НАРУШЕНИЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОПАСНОМ ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ОБЪЕКТЕ
Медведюк А.А. 586

ВЕБ-СЕРВИС ДЛЯ КУПЛИ И ПРОДАЖИ АВТО «АВТОТОЧКА» И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
Новиков К.А. 589

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ТЕПЛОВИЗИОННОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТА
Савеня П.В. 591

ВИРТУАЛЬНАЯ РЕАЛЬНОСТЬ В ОБУЧЕНИИ ХИМИИ
Скворец И.С; Заматай М.С. 594

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ ОТ СТАЦИОНАРНЫХ ИСТОЧНИКОВ В МИНСКЕ
Захаренков И.Д. 597

ВЛИЯНИЕ ВЕБ-СЕРВИСОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ НА ПОДДЕРЖАНИЕ СОЦИАЛЬНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ И ПРОФИЛАКТИКА СОЦИАЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ
Асташко В.И. 600

ВЛИЯНИЕ УДАЛЁННОЙ РАБОТЫ НА КАЧЕСТВО ЖИЗНИ
Иосько М.А., Савин Т.А. 603

АГРОДРОНЫ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ: ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕСЕНИЯ ПЕСТИЦИДОВ И СНИЖЕНИЕ РИСКОВ
Подрябинкин З.Д., Джалилова Н.Р. 606

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ РУССКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ В ШКОЛЕ
Химорода В.С. 609

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТУРИСТИЧЕСКОГО АГЕНТСТВА И ЕЁ ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
Ефименко Р.Н. 611

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ КОНСПЕКТИРОВАНИЯ С АДАПТИВНОЙ СИСТЕМОЙ ИНТЕРВАЛЬНЫХ ПОВТОРЕНИЙ И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
Малахова К.В. 614

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КАДРОВОЙ СЛУЖБЫ ПРЕДПРИЯТИЯ
Марецкий Н.Д. 617

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ АДАПТАЦИИ ПЕРСОНАЛА В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕНТОРСТВА
Островский Я.А. 619

РАЗРАБОТКА ТЕЛЕГРАМ-БОТА С ИНСТРУКЦИЕЙ ПО ОКАЗАНИЮ ПЕРВОЙ ПОМОЩИ
Павлюченко Ю.М., Шатило З.А. 621

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ЮРИДИЧЕСКИМИ ДЕЛАМИ И ДОКУМЕНТАМИ
Петрожицкая В.А. 624

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДУБРАВ
Шаболда П.А., Воробей Е.И. 628

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ВЫГОДЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
Шаболда П.А. 631

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ЗА СЧЕТ ЦИФРОВИЗАЦИИ КАНАЛОВ СВЯЗИ МЕЖДУ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ И РЕМОНТНЫМ ПЕРСОНАЛОМ
Шепелевский Я.Е. 634

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ И РАЗВИТИЯ НАВЫКОВ В СФЕРЕ IT
Старовойтов П.А. 636

ВЕБ-СЕРВИС МОНИТОРИНГА И АНАЛИЗА ЦИФРОВЫХ АКТИВОВ
Степанюк К. С. 639

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО ДЛЯ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ХАРАКТЕРИСТИК ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ ПК
Терешко М.В. 643

ИНЖЕНЕРНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ДИЗАЙНА СИСТЕМЫ КАК ФАКТОР УСПЕШНОГО ВНЕДРЕНИЯ АНАЛИТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В БИЗНЕС-СРЕДЕ
Третьяк М.В. 646

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА НАЙМА И БЕЗОПАСНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДАННЫМИ ПЕРСОНАЛА
Войтович Е.А. 649

ОЦЕНКА УРОВНЯ СВЕТОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В НОЧНОМ ГОРОДЕ
Бабинович А.С., Булавко К.И. 652

ТРУДОВЫЕ ЦЕННОСТИ ПОКОЛЕНИЙ Y И Z: СОЗДАНИЕ АДАПТИВНЫХ HR-СТРАТЕГИЙ
Гетманчук Д.Г., Кляус А.Б. 655

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОГО АРХИВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ПЕРЕХОДА К БЕЗБУМАЖНОМУ ХРАНЕНИЮ ИНФОРМАЦИИ
Герасимович А.Ю; Бобровская В.Е. 657

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ СТИМУЛАМИ В ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРА
Ильясова М.С. 660

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ПОДБОРА ТЬЮТОРОВ И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
Караваев М.И. 664

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА УСЛОВИЙ ТРУДА, АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НЕСЧАСТНЫХ СЛУЧАЕВ НА ПРОИЗВОДСТВЕ
Колесник В. П. 667

СИСТЕМА ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ОПОВЕЩЕНИЯ ПЕРСОНАЛА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАБОТ НА ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ОБЪЕКТЕ
Костюкевич М.Н. 670

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСВОЕНИЯ ОБУЧАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ
Ковалева К.В., Сикаченко Л.М. 673

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ПО УПРАВЛЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ТРУДОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
Куканьков Е.Д. 676

ВЛИЯНИЕ ЦВЕТОВОЙ СРЕДЫ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ НА ЭМОЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ВО ВРЕМЯ ОТКАЗА ОТ ВРЕДНЫХ ПРИВЫЧЕК
Маслова Ю.Ю. 679

ИНТЕРАКТИВНАЯ VR-ИГРА «ЛЕСТНИЦА ПРАВ: ВОЗРАСТ ГРАЖДАНИНА ИМЕЕТ ЗНАЧЕНИЕ»
Почебут М. Д., Журавлевич К. А. 682

ВЕБ И МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ОНЛАЙН-ПЛАТФОРМЫ ОБЪЯВЛЕНИЙ С ОБЕСПЕЧЕНИЕМ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ДАННЫХ
Раджабов О.М. 684

МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ПОКУПКИ АВИАБИЛЕТОВ С ИНТЕГРИРОВАННЫМ БЛОГОМ ДЛЯ ПУТЕШЕСТВЕННИКОВ И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
Рябцев Н.В. 687

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ РАБОТЫ РЕКРУТЕРОВ И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
Селюк С.Н. 689

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОВЕДЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ВОЛОНТЕРСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
Скрипов И.О. 692

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО ПО АВТОМАТИЗАЦИИ КОНТРОЛЯ ПРЕБЫВАНИЯ СОТРУДНИКОВ НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ И НАЧИСЛЕНИЯ ЗАРАБОТНОЙ ПЛАТЫ
Соболь М.А. 695

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ИНТЕРНЕТ-БАНКИНГА С СИСТЕМОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ И АНАЛИЗА ФИНАНСОВОЙ АКТИВНОСТИ КЛИЕНТОВ И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
Соколовский Д.И. 697

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ АРЕНДОЙ ПОМЕЩЕНИЙ ТОРГОВОГО ЦЕНТРА И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
Тарасов В.О. 700

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ФОРМИРОВАНИЯ, ЗАЩИТЫ И ПЕРЕДАЧИ НАЛОГОВОЙ ОТЧЕТНОСТИ И ЭЛЕКТРОННЫХ СЧЕТ-ФАКТУР
Воронов Г.А. 703

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ БРОНИРОВАНИЯ КОВОРКИНГОВ И РАБОЧИХ МЕСТ В ЧАСТНОЙ КОМПАНИИ
Якименко Н.Д. 705

КОНВЕЙЕР ОБРАБОТКИ ПОЗЫ И НОРМАЛИЗАЦИЯ КООРДИНАТ В AR-ПРИЛОЖЕНИИ ДЛЯ ВИРТУАЛЬНОЙ ПРИМЕРКИ ОДЕЖДЫ
Заяц А.А. 709

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ПО СОЗДАНИЮ МАРКЕТИНГОВОЙ СТРАТЕГИИ И РЕКЛАМЫ И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
Жигало В.А. 712

ФЛАЖКОВЫЙ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО АКТИВАТОРА ХИМИЧЕСКОГО ОГНЕТУШИТЕЛЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
Дулебенец Д.М. Ковалик Д.А. 714

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ РЕЕСТРОМ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ В АПТЕКЕ
Лисовский О. Ю. 717

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ХУДОЖНИКОВ И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
Ульянова Г. В. 720

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО ОЦЕНКИ РЫНОЧНОЙ СТОИМОСТИ НЕДВИЖИМОСТИ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ
Чепелевич В.О. 722

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СЕТИ АПТЕК
Догодькина В.С. 725

ВЕБ-САЙТ ПРИХОДА ХРАМА СВЯТИТЕЛЯ КИРИЛЛА ТУРОВСКОГО В Г. ЖАБИНКА: ЦИФРОВАЯ ПЛАТФОРМА ДУХОВНОГО ЕДИНСТВА И СОХРАНЕНИЯ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ БЕЛОРУССКОЙ ПРАВОСЛАВНОЙ ЦЕРКВИ И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
Филимонюк А.А. 729

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА ТЕЛЕМЕТРИИ И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
Герасимов К.Р. 732

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ «ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННЫЙ ПОДБОР ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ КУРСОВ И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ»
Кицун Д.Д. 735

ВЕБ-ПЛАТФОРМА ДЛЯ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ КОГНИТИВНОЙ НАГРУЗКОЙ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ УСТАЛОСТИ И ЕЕ ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
Замотаев А.С. 738

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ИСТОРИИ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ
Глушко А.А. 741

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ФОРМИРОВАНИЯ И ПОДДЕРЖКИ ПОЛЕЗНЫХ НАВЫКОВ И ПСИХОЛОГИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ И ЕЕ ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
Романов К.В. 743

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА И КОНТРОЛЯ ЗАПАСОВ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ И ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ
Шамрило И.Г. 745

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ «АГРЕГАТОР ОБЩЕСТВЕННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ» И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
Трушко Р.С. 748

ОСОБЕННОСТИ ЭРГОНОМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ АСТРОНОМИИ
Вербовская Е.М. 751

РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОЙ ПРИМЕРОЧНОЙ ДЛЯ МАГАЗИНА С АТРИБУТИКОЙ МИНСКОГО АВТОМОБИЛЬНОГО ЗАВОДА
Заяц А.А. 754

СОЦИОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ: ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИВЫЧКИ И ОСВЕДОМЛЁННОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ
Яковчук Г.В., Щиглинский И.К. 757

СЕКЦИЯ «ИНЖЕНЕРНАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА»

КЛАССИФИКАЦИЯ И ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ В ВОЗДУШНОМ ОХЛАЖДЕНИИ ВЫСОКОМОЩНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ
Живицкий И.А. 761

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ И ЯЗЫКОВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ ПРИ СОЗДАНИИ ГРАФИЧЕСКИХ ВЕБ-ИНТЕРФЕЙСОВ
Нгуен Т.З. 765

ИГРОВЫЕ МЕХАНИКИ В ИНТЕРФЕЙСЕ ЦИФРОВЫХ ПРОДУКТОВ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ МОТИВАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ
Попова Е.С. 769

ИНТЕРФЕЙС КАК ИНСТРУМЕНТ УДЕРЖАНИЯ ВНИМАНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ МОТИВАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ
Петрачков В.Л. 772

ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ СОЗДАНИИ
Яхья-заде А. С. 775

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ DASSAULT SYSTEMES SOLIDWORKS ДЛЯ ИСЛЕДОВАНИЯ АЭРОДИНАМИКИ АВТОМОБИЛЯ
Худер Л.Д. 778

АНАЛИЗ И СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ НЕИГРОВЫХ ПЕРСОНАЖЕЙ В ВИДЕОИГРАХ
Яхья-заде С.С. 781

КОГНИТИВНЫЕ СТИЛИ УЧАЩИХСЯ СТАРШИХ КЛАССОВ И СТУДЕНТОВ И ИХ УЧЁТ В ДИЗАЙН-ВИЗУАЛИЗАЦИИ АБСТРАКТНЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ КОНЦЕПЦИЙ
Сыс Е.Д. 784

АЛГОРИТМ ПРЕДОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ СЛАБОТЕКСТУРИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ
Платонова В.А. 788

СРАВНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ДЛЯ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ И АНИМАЦИИ
Подворный В.М., Блажевич Е.И. 791

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО
ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ТРЁХМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ
В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ
Прокопчик К.А. 794

ПРОЕКТ: МОДЕЛИРОВАНИЕ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА
СБОРКИ УЗЛА ИЗДЕЛИЯ В 3DS MAX
Филипова А. Д. 798

РАЗРАБОТКА АДАПТИВНЫХ ЧЕРТЕЖЕЙ ДЛЯ НЕЗРЯЧИХ ЛЮДЕЙ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ШРИФТА БРАЙЛЯ
Арцукевич А.В. 801

ОБРАТНЫЙ ИНЖИНИРИНГ ПРОСТОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ДЕТАЛИ:
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОТ ФИЗИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА ДО 3D-МОДЕЛИ
Суконкин В.В., Островский В.А. 803

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ И ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ТЕПЛОВОГО НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ
ДЛЯ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ЧАСТНОГО ДОМА
Зиангиров А.Ф. 806

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ
ТУРБИННОГО КОЛЕСА С ИЗОГНУТЫМИ ЛОПАСТЯМИ
Мугинов А.М., Мугинова А.И. 810

РАЗРАБОТКА ИНЖЕНЕРНОЙ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА
МУЛЬТИВИХРЕВОГО КЛАССИФИКАТОРА
ДЛЯ ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ
Прец М. А, Вдовина В.А. 813

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АБСОРБЦИОННОЙ
ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ
Зинурова К.И. 816

ИГРОВАЯ ИНДУСТРИЯ КАК ПОМОЩНИК В ИЗУЧЕНИИ
ИНЖЕНЕРНОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКИ
Михаленко Е.В. 819

ПРОБЛЕМЫ ГЕНЕРАЦИИ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ИНЖЕНЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ
Шибаев И. С...... 822

СЕКЦИЯ
«ИНОСТРАННЫЕ ЯЗЫКИ»

DESIGN OF 2.4 – 2.5 GHz RECEIVER WITH AUTOMATIC GAIN CONTROL SYSTEM
Chertoritskii I.G. 826

INFLUENCE OF PRETREATMENT METHODS ON THE FORMATION OF THIN-FILM NICKEL ELECTRODES FOR CAPACITIVE SENSORS
Panfilenko E.D., Provlockaya D.V. 831

THE EFFECT OF COLD PLASMA ON THE INHIBITION OF THE GENUS STAPHYLOCOCCUS BACTERIA
Provlockaya D.V., Panfilenko E.D. 836

СЕКЦИЯ «ПЕРВЫЙ ШАГ В НАУКУ»

МЕТОДИКА ТЕСТИРОВАНИЯ НА ПРОНИКНОВЕНИЕ ДЛЯ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ
Михайловский С.Г. 841

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ПРОТИВОДЫМНОЙ ЗАЩИТЫ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ
Прусенкова А.О. 845

АРХИТЕКТУРА ПОСТРОЕНИЯ СЕТИ ИНТЕРНЕТ В КОНТЕКСТЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ
Вашкевич В.В. 847

КОНСТРУКЦИЯ И ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ
Шацкий М.Г. 849

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ РЕАЛИЗАЦИИ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ
Середа И.С. 853

РАЗРАБОТКА ЛОКАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АКУСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА С ФУНКЦИЕЙ ДЕТЕКЦИИ КРИТИЧЕСКИХ ЗВУКОВ В ЗАДАННОМ ДИАПАЗОНЕ ДЕЦИБЕЛ И ЭКСТРЕННЫМ ОПОВЕЩЕНИЕМ НАСЕЛЕНИЯ ЧЕРЕЗ МОБИЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА
Мишук В.Е. 856

ВЕБ-СКРЕЙПИНГ И ЭТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СБОРА ИНФОРМАЦИИ
Гимпель К.А. 859

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕСТИРОВАНИЯ ВЕБ-API: POSTMAN/NEWMAN И КОД-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ФРЕЙМВОРКИ
Кривоносова М.А. 861

МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ УЧЕБНЫМ КОНТЕНТОМ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОМ СЕРВИСЕ РЕШЕНИЯ УЧЕБНЫХ ЗАДАЧ
Намдаг Т. Ц. 866

РАЗРАБОТКА ИНТЕГРИРОВАННОГО ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ РУЧНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ
Войнилович Н.Ю., Галяк И.П., Ефименко Д.Д. 869

ВИЗУАЛЬНОЕ РЕГРЕССИОННОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ БИЗНЕС-ПРИЛОЖЕНИЙ
Трубеко В.В., Девялтовский Д.С. 872

СЕМАНТИЧЕСКИЙ ПОИСК И ПОДБОР КНИГ С ПОМОЩЬЮ ИНТЕГРИРОВАННОГО ИИ-АССИСТЕНТА
Коршов М.И. 874

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ГЕНЕРИРОВАНИЯ СТАНДАРТНЫХ РАВНОМЕРНЫХ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ
Алексеев С.А. 877

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ С МОДУЛЕМ ДЕТЕКЦИИ ОСТАВЛЕННЫХ ВЕЩЕЙ, КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ В МЕСТАХ МАССОВОГО ПРЕБЫВАНИЯ ЛЮДЕЙ
Стома А.Д. 880

ОБЗОР И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕСТИРОВАНИЯ UX ДЛЯ БИЗНЕС-ПРИЛОЖЕНИЙ
Гугалев А.С. 883

АВТОМАТИЗАЦИЯ СКЛАДСКОЙ ЛОГИСТИКИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ RPA
Карлюк П.А. 886

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОГРАММНЫХ АНАЛОГОВ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ БРСМ
Куприянова К.В. 889

ВСТРОЕННЫЙ ИИ-АССИСТЕНТ В ТИКЕТ-СЕРВИСЕ: ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ОБРАЩЕНИЙ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА
Михайловская М.С. 892

РАЗРАБОТКА ЛОКАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АКУСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА С ФУНКЦИЕЙ ДЕТЕКЦИИ КРИТИЧЕСКИХ ЗВУКОВ В ЗАДАННОМ ДИАПАЗОНЕ ДЕЦИБЕЛ И ЭКСТРЕННЫМ ОПОВЕЩЕНИЕМ НАСЕЛЕНИЯ ЧЕРЕЗ МОБИЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА
Мишук В.Е. 895

МЕТОД РАСЧЕТА ОЖИДАЕМОЙ НАДЕЖНОСТИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
Силенкова Д.С., Зацепина М.И. 898

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА АНАЛИЗА ПОВЕДЕНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ВЕБ-САЙТА
Отгонбаатар Е. 901

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ УСПЕШНОСТИ НОВЫХ ПРОДУКТОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПОТРЕБИТЕЛЬСКОГО ВЫБОРА
Папко К.А. 904

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ РАСЧЁТОВ СТИПЕНДИЙ СТУДЕНТАМ В УЧРЕЖДЕНИЯХ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
Пташук К.А. 908

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ КОГНИТИВНОЙ НАГРУЗКИ ОПЕРАТОРА В ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ СИСТЕМАХ
Рудько В.Н. 911

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ PAGE OBJECT И SCREENPLAY ПАТТЕРНОВ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ СЛОЖНЫХ СЦЕНАРИЕВ В БИЗНЕС-ПРИЛОЖЕНИЯХ
Шипуль А.Р. 915

МЕТОД ОЦЕНКИ ОЖИДАЕМОЙ НАДЁЖНОСТИ ПРИКЛАДНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ
Силенкова Д.С., Зацепина М.И. 919

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО РЕАЛИЗАЦИИ КЛИЕНТСКОГО СЕРВИСА АВТОМАТИЗАЦИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С СЕРВИСНОЙ КОМПАНИЕЙ
Василевич П.М. 922

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ В УПРАВЛЕНИИ КОМПЬЮТЕРОМ
Яцковец М.А., Завалей В.А. 926

ТЕСТИРОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА ДИАГНОСТИКИ
И КОРРЕКЦИИ ПОСТИНСУЛЬТНОГО БОЛЕВОГО СИНДРОМА
Шумская Я.П., Кушнер А.А. 928

ПОВЫШЕНИЕ ВОВЛЕЧЁННОСТИ И УДЕРЖАНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ
В ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЯХ
Мосендз А.В. 932

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕЛЕЙ
ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ И АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ
В ПРОГНОЗИРОВАНИИ ВВП РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Полонников А. Д. 937

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЕБ-ИНТЕРФЕЙСА ДЛЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
С LLM-АГЕНТАМИ: ПАТТЕРНЫ, ПРОБЛЕМЫ, РЕШЕНИЯ
Иванов В.В. 939

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УСТОЙЧИВОСТИ ЛИЧНОГО
БЮДЖЕТА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ДОХОДОВ И ИНФЛЯЦИИ
Прескурел Я.Ю. 942

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИНАНСОВЫХ РЕЗЕРВОВ И ПОДУШКА
БЕЗОПАСНОСТИ: КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА РИСКА
Прескурел Я.Ю. 945

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО РЕАЛИЗАЦИИ РЕШЕНИЯ
ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ИНВЕСТИЦИОННОЙ КРИПТОПЛАТФОРМОЙ
Приходько Н.Н. 948

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ТУННЕЛЕЙ ВЕНТУРИ
НА ПРИЖИМНУЮ СИЛУ БОЛИДА ФОРМУЛЫ 1
Химич Ф.С. 951

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО РЕАЛИЗАЦИИ RPA-РЕШЕНИЯ
ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ДОГОВОРАМИ
Кузнецов Е.В. 953

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНТЕРАКТИВНОГО ДВОЙНОГО СЧЕТЧИКА
ЭНЕРГИИ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ПОСТРОЕНИЯ ПРОФИЛЯ НАГРУЗКИ
И СЕТЕВЫМ ИНТЕРФЕЙСОМ
Маякин Г.О. 956

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИФРОВОЙ ПАЯЛЬНОЙ СТАНЦИИ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПАЯЛЬНИКА ПРИ МОНТАЖЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ
Нестерович Е.А. 960

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ПОВРЕЖДЕНИЙ ПРИ АРЕНДЕ АВТОМОБИЛЕЙ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИМОДАЛЬНОГО СРАВНЕНИЯ ФОТООТЧЁТОВ
Ничипорчик К.А. 964

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕГИСТРАТОРА ТЕМПЕРАТУРЫ С ИНТЕРФЕЙСОМ USB И ПРОГРАММНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИЕЙ ДАННЫХ НА БАЗЕ AVTDUINO UNO R4 С ПОДДЕРЖКОЙ ETHERNET И POE
Сидоревич М.В. 967

ОБЗОР МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ПОСТРОЕНИЯ КОНЦЕНТРАТОРОВ И СИСТЕМ СВЯЗИ НА ИНТЕРФЕЙСАХ RS-422 И RS-485
Трутнев Н. А. 970

МИКРОКОНТРОЛЛЕРНЫЙ РЕВЕРСИВНЫЙ ЧАСТОТОМЕР С ГРАФИЧЕСКОЙ ИНДИКАЦИЕЙ И АППАРАТНЫМ ОПРЕДЕЛЕНИЕМ НАПРАВЛЕНИЯ СЧЁТА
Василевский П.А. 973

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ МЕТОДОМ УЗЛОВЫХ НАПРЯЖЕНИЙ СРЕДСТВАМИ MATLAB
Вильтовская А.Д. 976

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ В УПРАВЛЕНИИ КОМПЬЮТЕРОМ
Яцковец М.А., Завалей В.А. 979

ГИБРИДНАЯ СИСТЕМА СЕМАНТИЧЕСКОГО ПОИСКА ФИЛЬМОВ НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАННЫХ ЭМБЕДДИНГОВ
Захарьев В.А Тоган И.Д. 981

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ КИБЕРФИЗИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ: АРХИТЕКТУРА, МЕТОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
Сергиевич А.А, Шабанович Р.А. 984

ОПТИМИЗАЦИЯ ОБЛАЧНЫХ ХРАНИЛИЩ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМОВ ДЕДУПЛИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ
Вегера К.С. 987

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ РЕСУРСОВ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ДОМАШНИХ СИСТЕМАХ
Агапова В.О. 990

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ РАБОТЫ АЛГОРИТМОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА
Кухто В.С. 995

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ТЕХНОЛОГИЯХ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ И ПРОИЗВОДСТВА RDF-ТОПЛИВА
Гурман В.А. 998

ПРЕДИКТИВНАЯ АНАЛИТИКА В ПРЕДУПРЕЖДЕНИИ АВАРИЙ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ
Калугина В.А. 1001

ТРАНЗАКЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В СФЕРЕ ФИНАНСОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
Кохан А.Д. 1004

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДЕТЕКЦИИ И БАРЬЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ МИКРОПЛАСТИКА
Аксёнова А. А. 1007

ФОТОНИКА – ЭЛЕКТРОНИКА БУДУЩЕГО
Коновалов Н.О., Богдевич К.С. 1011

СВЧ-КОМПОНЕНТЫ: ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ
Куприянович О.А. 1014

ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ НАНОТЕХНОЛОГИЙ
Николаеня С.Р., Сидоренко В.В. 1016

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ
Журавская Е.А., Гололобов Н.С. 1018

ОТКРЫТИЯ ПРОШЛОГО НА СТРАЖЕ НАСТОЯЩЕГО.
КОНСТРУКЦИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ
МЕТАЛЛОИСКАТЕЛЕЙ
Буйневич Д.А., Языков С.К., Соловей А.В. 1020

МЕТОДИКА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ
ПРИМЕНЕНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК
ДЛЯ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ
Вдовина В.А. 1024

ЭВОЛЮЦИЯ РОБОТОТЕХНИКИ – ОТ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ
МОДЕЛЕЙ К АВТОНОМНОМУ АТРОПОМОРФНОМУ ИНТЕЛЛЕКТУ
Шухно А. В., Бурак Е. М. 1026

ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА КАК УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЯЗЫК: ОТ ИДЕИ
ДО ПРОТОТИПА
Ефимович В.В., Федосюк А.В. 1029

ИССЛЕДОВАНИЕ ИСКАЖЕНИЙ ВОСПРИЯТИЯ ГРАФИЧЕСКОЙ
ИНФОРМАЦИИ В ИНЖЕНЕРНОЙ ПРАКТИКЕ
Швабо Д.В., Сорокин М.А. 1031

ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ЛИСТОВОЙ ДЕТАЛИ
ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТАХ КОНСТРУКЦИИ С УЧЁТОМ
ИНСТРУМЕНТОВ AUTODESK INVENTOR
Суходолов И.А., Павлюченко З.А. 1034

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕРАКТИВНЫХ 3D-МОДЕЛЕЙ
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАРКЕТИНГА
Духовская С.О., Василюк В.Ю. 1037

ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ИММЕРСИВНЫХ СИСТЕМ
В ИНДУСТРИИ И МЕДИЦИНЕ
Лешкович С.С., Красовская Д.Ю. 1040

ОБУЧЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ФИЗИКЕ МИРА
С ПОМОЩЬЮ WORLD MODELS
Минченко Д.Н. 1043

ЦИФРОВЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ПРИ ОБУЧЕНИИ
СТУДЕНТОВ СТРОИТЕЛЬНОГО ВУЗА АСПЕКТАМ СОХРАНЕНИЯ
ИСТОРИЧЕСКОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ
Тарасова А.В. 1046

USING VIDEOGAMES FOR MILITARY TRAINING
Antonovich.E. A., Efremov.A.Y. 1049

GENETIC ALGORITHMS: HOW COMPUTERS “EVOLVE”
Astrowski V.A. 1051

THE INFLUENCE OF COLOR SOLUTIONS ON USER BEHAVIOR AND CHOICE IN THE DIGITAL ENVIRONMENT
Bobr K.D., Yanuts A.P. 1054

PLANETARY ENGINEERING: THE HUMANITY’S POTENTIAL TO LIVE ON OTHER PLANETS
Bogdanovich K.D. 1057

AI IN CYBERSECURITY
Danilevich P.V. 1059

FUNCTIONING OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TERMS IN MODERN ENGLISH
Dziazhynskaya P.V. 1061

THE PSYCHOLOGY OF COLOR ON WEBSITES: A COMPARATIVE ANALYSIS OF BELARUSIAN AND AMERICAN WEBSITES
Dikovitskaya A.O. 1063

HYDROGEN FUEL: A WHOLE CYCLE – MINING, APPLICATION AND POTENTIAL RISKS
Gerasimchik E.N., Proturo A.P. 1065

SOFT SKILLS AS A COMPETITIVE ADVANTAGE FOR TECH SPECIALISTS IN THE ERA OF AI
Goncharko S.A. 1067

THE IMPACT OF AI ON THE ENVIRONMENT
Guranchik F.A. 1069

HOW RELIABLE ARE MODERN BIOMETRIC SYSTEMS?
Gurskaya A. S. 1071

COMPARATIVE ANALYSIS OF PROGRAMMING LANGUAGES STUDIED AT BSUIR AND THEIR COMPLIANCE WITH MODERN REQUIREMENTS OF THE IT MARKET
Holod I.V., Zhukovskaya P.V. 1074

GENERATIVE AI (DEEPSEEK) IN LEARNING FOREIGN LANGUAGES AT A UNIVERSITY: OPPORTUNITIES AND LIMITATIONS
Jalilova L.R. 1077

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN CYBERSECURITY
Kaplunova A. A. Lobatskaya E. S. 1079

WWII VISION IN SOME ENGLISH-SPEAKING COUNTRIES
Khursan I.R. 1081

THE IMPACT OF GENERATIVE CHATBOTS ON THE IT SUPPORT AND HELPDESK LABOUR MARKET
Kolosovsky M.Y. 1083

PSYCHOLOGICAL DEPENDENCE OF STUDENTS ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE EDUCATIONAL PROCESS
Korshunova V.A. 1085

GAMIFYING ACADEMIC ROUTINE: THE IMPACT OF CONTINUOUS ENGAGEMENT MECHANICS ON STUDENT MOTIVATION
Kudan T.A., Tereshkin A.Y. 1087

THE IMPLEMETNATION OF VIBE CODING IN SOFTWARE ENGINEERING
Kungurtsev A.V. 1089

HOW CHATBOTS AND VOICE ASSISTANTS WORK
Kupriyanovich O. A. 1091

A TOOL FOR MONITORING RESOURCE USAGE AND ENERGY CONSUMPTION OF SOFTWARE APPLICATIONS TO SUPPORT GREEN OPTIMIZATION
Laptinsky V.I.; Volkolovsky I.A. 1094

ENGAGEMENT ENGINEERING: THE ARCHITECTURE OF PSICHOLOGICAL DEPENDENCE IN DIGITAL SYSTEMS
Malakhotkina E. A., Chesnakova E. V. 1097

PROMPT ENGINEERING FOR IMPROVING FOREIGN LANGUAGE SKILLS OF TECHNICAL UNIVERSITY STUDENTS
Markovets D.Y., Pashkevich D.A. 1099

QUANTUM COMPUTERS: PRINCIPLES OF OPERATION AND PROSPECTS FOR APPLICATION
Melnikov I. M., Miatselitsa M. P. 1101

LI-FI – WIRELESS DATA TRANSMISSION USING LIGHT
Mischenko U.A. 1103

FROM ALERTS TO ACTION: AI AGENTS IN MODERN SECURITY OPERATIONS
Nasevich A.A. 1105

ENEMY OR COLLABORATOR? THE IMAGE OF AI AND NEW TECHNOLOGIES IN ENGLISH-LANGUAGE ART JOURNALS
Petrenko D.A., Makaruk P.A. 1107

THE PROBLEM OF USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN IT INTERVIEWS
Pleskatsevich V.A. Panteleev N.A 1109

APPLICATION OF GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN INFLUENCER MARKETING FOR INNOVATIVE PROJECTS
Pocherney M. S., Kuzmenkov M. S. 1111

CHILDREN VS. ALGORITHMS: EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF GLOBAL DEEPFAKE AND CONTENT MODERATION POLICIES IN 2026
Poltorak V.V., Chernyavskaya S.I. 1113

VR & AR IN ENGINEERING EDUCATION
Poteshenko M.A. 1116

VR-AUGMENTED CONTROL SYSTEMS FOR COLLABORATIVE ROBOTS IN MANUFACTURING
Rusilevich D.Y., Zuev D.N. 1118

NEUROCHIPS AND BRAIN-COMPUTER INTERFACES: CURRENT STATE AND OPPORTUNITIES
Ruzhkou A.P., Konchatov S.A. 1120

LIVING ROBOTS: XENOBOTS AND ANTHROBOTS
Saharchuk D. S. 1122

«CO-OWN» DIGITAL PLATFORM
Sergievich N.V., Navoev J.E. 1124

CYBERSECURITY ON YOUR SMARTPHONE: WHAT YOUR APPS ARE HIDING
Sevrukov K.I. 1126

ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF BSUIR'S INTERACTION WITH IT COMPANIES IN THE CONTEXT OF THE DISTRIBUTION AND EMPLOYMENT OF GRADUATES
Sharstsiuk R.A., Kravchuk N.A. 1128

THE HIDDEN COST OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN PROGRAMMING
Shibaev I.S. 1131

THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ETHICAL HACKING
Sorokin K.D. 1133

FIGHTING MONEY LAUNDERING WITHOUT SHARING SECRETS: PRACTICAL USE OF CONFIDENTIAL COMPUTING
Sosnovskiy T.I. 1135

AI– GENERATED TECHNICAL DOCUMENTATION IN GLOBAL ENGINEERING: THE NEW FRONTIER OF LANGUAGE, STANDARDS, AND QUALITY ASSURENCE
Surganova S.P., Kushchynski M.D. 1137

THE IMPACT OF AI ON THE ENVIRONMENT
Tsando E.L. 1140

THE FUTURE OF MICRO – AND NANOELECTRONICS
Teslyonok A.V. 1143

THE ROLE OF CRYPTOCURRENCIES AND BLOCKCHAIN IN THE MODERN ECONOMY
Tyupko A.A. 1146

A REVOLUTION IN MEMORY SAFETY: A COMPARATIVE STUDY OF RUST, GO, AND MODERN C++ WITH CONTEMPORARY MEMORY PROTECTION MECHANISMS
Ustimchuk R. V., Shubaba M. I. 1148

THE DEVELOPMENT OF A CRYPTOALGORITHM BASED ON DOMESTIC STANDARDS
Vasilevsky I. P., Dobygin.M .D. 1151

SELF-DRIVING CARS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE ON THE ROAD
Yatsevich G. V. 1154

THE ERA OF «AGENTIC AI»: WHEN CHATBOTS STARTED DOING THINGS
Yefimau M. I., Baulina I. P. 1156

ENHANCING RETAIL OPERATIONS THROUGH COMPUTER VISION
Zhitnikova D.S., Zaitseva S.V. 1158

THE «FILTER BUBBLE» EFFECT: HOW RECOMMENDATION ALGORITHMS SHAPE OUR WORLDVIEW AND LIMIT SERENDIPITY
Zinkovsky A.V. 1160

THE INFLUENCE OF NEURAL NETWORKS ON THE CURRENT JOB MARKET
Solovey A.V. 1170

СЕКЦИЯ «ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ»

УДК 621.396.69: 536.24: 621.382-181.4

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПАССИВНЫХ РАДИАТОРОВ ДЛЯ ЦИФРОВЫХ МИКРОСХЕМ В РАЗНЫХ ТИПАХ КОРПУСОВ (QFP, BGA, QFN)

Яцкевич Я.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Пискун Г.А. – к. т. н, доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. Проведено сравнение эффективности установки пассивных радиаторов на цифровые микросхемы в трёх различных типах корпусов: QFP, QFN и BGA. На примере микроконтроллеров семейства MSP430 компании Texas Instruments, имеющих идентичную функциональность, но разное конструктивное исполнение, выполнен тепловой расчёт максимально допустимой рассеиваемой мощности. Использованы паспортные значения тепловых сопротивлений «кристалл–среда» (θja) и «кристалл–корпус» (θjc), а также рассмотрены три варианта пассивных радиаторов с тепловым сопротивлением 15, 30 и 50 °C/Вт. Установлено, что корпус QFN демонстрирует наилучшие показатели пассивного охлаждения без радиатора благодаря наличию нижней тепловой подушки, однако установка радиатора на него нецелесообразна..

Ключевые слова: пассивный радиатор, тепловое сопротивление, корпус QFP, корпус QFN, корпус BGA, рассеиваемая мощность, охлаждение микросхем, тепловой режим.

Введение. Современная цифровая электроника характеризуется непрерывным увеличением производительности и функциональной плотности микросхем при одновременном уменьшении их геометрических размеров. Микроконтроллеры, логические чипы и процессоры, упакованные в корпуса типов QFP, QFN и BGA, выделяют значительное количество тепла в процессе работы. Превышение максимально допустимой температуры кристалла (T_{jmax}) ведет к деградации характеристик, снижению надежности и выходу устройства из строя. Эффективность отвода тепла определяется тепловым сопротивлением «кристалл–окружающая среда» (θ_{ja}), которое сильно зависит от типа корпуса и условий охлаждения. Дополнительным важным параметром является тепловое сопротивление «кристалл–корпус» (θ_{jc}), которое описывает эффективность передачи тепла от кристалла к верхней поверхности корпуса – именно туда впоследствии устанавливается радиатор. Традиционным методом улучшения теплоотвода является установка пассивных радиаторов, однако, в силу конструктивных особенностей корпусов, прирост допустимой рассеиваемой мощности от установки одного и того же радиатора может кардинально различаться.

Различия корпусов QFP, QFN и BGA. В электронике широко используются три основных типа корпусов, расположенные на рисунке 1.

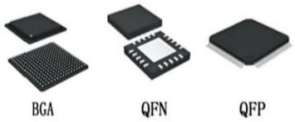


Рисунок 1 – Типы корпусов

QFP (Quad Flat Package) – корпус с выводами по четырём сторонам. Тепло от кристалла передаётся через металлический подложку и выводы на печатную плату, а также через поверхность корпуса в воздух.

QFN (Quad Flat No-leads) – безвыводной корпус с тепловой подушкой (exposed pad) на нижней стороне. Эта подушка припаивается непосредственно к медному полигону на плате, создавая очень эффективный путь отвода тепла.

BGA (Ball Grid Array) – корпус с шариковыми выводами, расположенными матрицей. Тепло проходит через подложку и множество шариков припоя в плату.

Расчёт. Для исследования выбраны три микроконтроллера семейства MSP430 (Texas Instruments), идентичные по функциональности [1, 2]. Для данной микросхемы, во всех исследуемых корпусах, представлены тепловые параметры, в таблице 1.

Таблица 1 – Тепловые параметры выбранных микросхем

Параметр	Обозначение	QFP	QFN	BGA
Тип корпуса		LQFP-48	QFN-40	BGA (ZQE)
Тепловое сопротивление кристалл–среда	θ_{ja} (°C/Вт)	67,6	31,6	55,5
Тепловое сопротивление кристалл–корпус	θ_{jc} (°C/Вт)	24,0	24,1	21,2
Максимальная температура кристалла	T_{jmax} (°C)	85	85	85
Температура окружающей среды	T_a (°C)	25	25	25
Температурный перепад	$\Delta T = T_{jmax} - T_a$	60	60	60

Для расчёта максимальной мощности, которую можно рассеять без превышения, использовалась следующая формула:

$$P_{max} = \frac{T_{jmax} - T_a}{\theta_{ja}} \quad (1)$$

При установке пассивного радиатора тепловая схема замещения имеет вид:

$$\theta_{ja(rad)} = \theta_{jc} + \theta_{cs} + \theta_{sa} \quad (2)$$

где θ_{sa} – тепловое сопротивление радиатора (15, 30 или 50∘C/Вт).

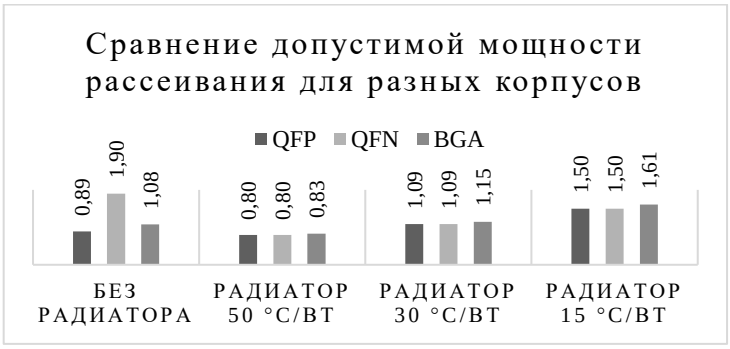


Рисунок 2 – Сравнение допустимой мощности рассеивания для разных корпусов

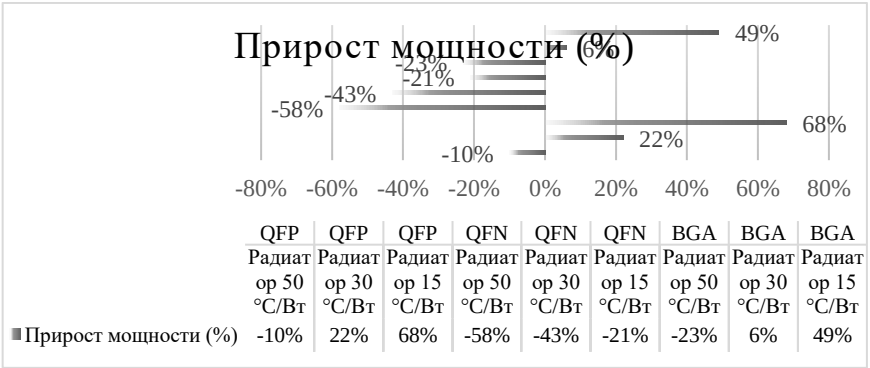


Рисунок 3 – Относительный прирост мощности при использовании радиатора

Заключение. На основе расчётов по реальным данным для микросхем в корпусах QFP, QFN и BGA установлено, что эффективность пассивного радиатора существенно зависит от конструкции корпуса. QFN обеспечивает наилучшее пассивное охлаждение без радиатора

благодаря нижней тепловой подушке, а установка радиатора для него нецелесообразна, поскольку снижает допустимую мощность на 21%. Наибольший абсолютный прирост от радиатора демонстрирует BGA: мощность увеличивается с 1,08 до 1,61 Вт (+49%) за счёт низкого внутреннего теплового сопротивления и слабого отвода тепла через шарики припоя. QFP показывает максимальный относительный прирост (+68%), однако его итоговая мощность остаётся ниже QFN без радиатора. Установлено также, что радиаторы с высоким тепловым сопротивлением ухудшают охлаждение для всех корпусов. Таким образом, наибольшую выгоду от пассивного радиатора получает BGA, тогда как QFN в радиаторе не нуждается, а QFP занимает промежуточное положение.

Список литературы

1. *Texas Instruments. MSP430F51x1, MSP430F51x2 Mixed Signal Microcontroller Datasheet (SLAS619R).*
2. *Texas Instruments. MSP430FG461x Mixed Signal Microcontroller Datasheet (SLAS508K).*
3. *JEDEC Standard. JESD51-7: High Effective Thermal Conductivity Test Board for Leaded Surface Mount Packages. JEDEC Solid State Technology Association.*
4. *JEDEC Standard. JESD51-2a: Integrated Circuits Thermal Test Method Environmental Conditions – Natural Convection (Still Air). JEDEC Solid State Technology Association.*

UDC 621.396.69: 536.24: 621.382-181.4

COMPARISON OF THE EFFICIENCY OF PASSIVE HEAT SINKS FOR DIGITAL INTEGRATED CIRCUITS IN DIFFERENT PACKAGE TYPES (QFP, BGA, QFN)

Yatskevich Y.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics,
Minsk, Republic of Belarus
Piskun G.A. – Cand. of Sci., Associate Professor, associate professor of the Department of Design of Electronic Computers

Annotation. A comparison of the efficiency of installing passive heat sinks on digital integrated circuits in three different package types (QFP, QFN, and BGA) was carried out. Based on the example of MSP430 family microcontrollers from Texas Instruments, which have identical functionality but different package designs, a thermal analysis of the maximum allowable power dissipation was performed. The datasheet values of junction-to-ambient (θja) and junction-to-case (θjc) thermal resistances were used, and three variants of passive heat sinks with thermal resistances of 15, 30, and 50 °C/W were considered. It was found that the QFN package demonstrates the best passive cooling performance without a heat sink due to the presence of an exposed thermal pad; however, attaching a heat sink to it is impractical.

Keywords: passive heat sink, thermal resistance, QFP package, QFN package, BGA package, power dissipation, integrated circuit cooling, thermal performance.

УДК 004.021

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ БИБЛИОТЕК PPL И TPL ДЛЯ РЕШЕНИЯ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ

Русецкий А.Д.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Логинова И.П. – к. т. н, доцент кафедры ЭИ

Аннотация. В статье проводится сравнительный анализ эффективности двух библиотек параллельного программирования - Parallel Patterns Library (PPL) для C++ и Task Parallel Library (TPL) для C#/.NET - при решении систем линейных алгебраических уравнений. Исследование включает тестирование на системах размерностью 500×500, 1000×1000 и 1500×1500 с использованием метода Гаусса, метода Гаусса-Жордана и метода Якоби.

Ключевые слова. Параллельные вычисления, системы линейных уравнений, метод Гаусса, PPL, TPL, сравнительный анализ производительности, масштабируемость алгоритмов, многопоточное программирование.

Введение. Развитие многопроцессорных вычислительных систем и многоядерных процессоров обусловило необходимость разработки эффективных параллельных алгоритмов для решения задач вычислительной математики. В контексте решения систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), которые являются фундаментальной проблемой в научных вычислениях, инженерном анализе и машинном обучении, параллелизация представляет особый интерес ввиду высокой вычислительной сложности традиционных алгоритмов.

Современные технологии параллельного программирования предлагают различные подходы к реализации параллельных вычислений. В экосистеме Microsoft разработчикам доступны две ключевые технологии: Parallel Patterns Library (PPL) для C++ и Task Parallel Library (TPL) для C#/.NET. Несмотря на схожие концептуальные основы, эти библиотеки существенно различаются по своей архитектуре, уровню абстракции и механизмам управления потоками, что может приводить к различиям в производительности при решении однотипных вычислительных задач.

Основная часть. В настоящей статье проводится сравнительный анализ эффективности PPL и TPL на примере реализации параллельных алгоритмов решения СЛАУ больших размерностей (500×500, 1000×1000 и 1500×1500). Основное внимание уделяется исследованию масштабируемости алгоритмов при различном количестве вычислительных потоков (1, 2, 4, 8, 12), анализу ускорения вычислений и оценке эффективности использования вычислительных ресурсов.

Для обеспечения корректности сравнения были разработаны идентичные алгоритмические реализации метода Гаусса с выбором главного элемента и методом Якоби на обеих платформах [1]. Алгоритмы включают как последовательные, так и параллельные версии с использованием технологии многопоточных вычислений, предоставляемых соответствующими библиотеками.

Перед тем, как подробно приступить к исследованию, рассмотрим по отдельности каждую из библиотек: PPL и TPL.

Parallel Patterns Library (PPL) для C++. Parallel Patterns Library (PPL) – это высокоуровневая библиотека параллельного программирования, разработанная Microsoft для языка C++ и интегрированная в среду разработки Visual Studio. PPL предоставляет модель параллелизма, основанную на задачах (task-based), и поддерживает различные параллельные шаблоны для упрощения разработки многопоточных приложений [2].

Архитектурные особенности:

1 *Интеграция с C++ Standard Library*: PPL тесно интегрирована со стандартной библиотекой C++ и использует идиомы современного C++ (лямбда-выражения, шаблоны).

2 *Модель выполнения на основе задач*: основная абстракция – задача (task), которая представляет собой единицу работы, планируемую для выполнения в пуле потоков.

3 *Автоматическое управление потоками*: библиотека автоматически управляет созданием и уничтожением потоков через внутренний планировщик задач.

4 *Поддержка различных параллельных шаблонов*:

- parallel_for – параллельное выполнение циклов;
- parallel_for_each – параллельная обработка контейнеров;
- parallel_invoke – параллельное выполнение нескольких функций;
- task_group – группировка связанных задач.

Task Parallel Library (TPL) для C#/.NET. Task Parallel Library (TPL) – это набор компонентов .NET Framework и .NET Core, предоставляющих модели параллелизма и распараллеливания для языков семейства .NET. TPL абстрагирует низкоуровневые детали управления потоками, позволяя разработчикам сосредоточиться на логике приложения [3].

Архитектурные особенности:

1 *Интеграция с языком C#*: глубокая интеграция с языковыми конструкциями C#, включая ключевые слова async/await и LINQ.

2 *Иерархия абстракций*:

- Task – базовая единица асинхронной работы;
- Parallel – высокоуровневые параллельные конструкции;
- PLINQ – параллельные LINQ-запросы.

3 *Work-stealing алгоритмы*: использует расширенные алгоритмы кражи работы для балансировки нагрузки между потоками.

4 *Поддержка отмены и продолжений*: встроенные механизмы для отмены задач и определения зависимостей между ними.

Сравнение эффективности вычислений библиотек. Для сравнения эффективности параллельных вычислений потребуется единый набор входных данных – коэффициентов для систем линейных алгебраических уравнений. Для этого на языке C++ была написана программа, генерирующая матрицу случайных коэффициентов и вектор правых частей уравнений для СЛАУ размерностями 500×500, 1000×1000 и 1500×1500. Файлы с этими параметрами в последующем считываются и обрабатываются двумя программами, использующими методы библиотек PPL и TPL для параллельных вычислений [4]. В ходе сравнения эффективности параллельных вычислений этих библиотек для решения СЛАУ был использован ПК с конкретными характеристиками (таблица 1).

Таблица 1 – Технические характеристики ПК

Операционная система	Windows 10.0.19045
Версия C++	14
Версия .Net C#	5.0.201
Размер ОЗУ	16 ГБ
CPU	11th Gen Intel(R) Core(TM) i5-1135G7 @2.40GHz
Количество ядер	4
Количество логических процессоров	8

Для решения СЛАУ каждая из программ с библиотеками PPL и TPL использует одинаковые математические методы и конфигурации потоков:

1 Последовательное решение СЛАУ методом Гаусса [5].

Метод состоит из прямого и обратного ходов. Прямой ход заключается в сведении расширенной матрицы системы уравнений к треугольному виду путем применения эквивалентных преобразований.

Обратный ход заключается в вычислении суммы a[i][j]*x[j] для каждой из n строк, начиная с последней. При этом обрабатываются j только большие чем i (элементы выше главной диагонали). Асимптотическая сложность такого алгоритма – O(n*n).

Таким образом, распараллеливать целесообразно только прямой ход. Даже если параллельно выполнять вычисления обратного хода с нулевыми издержками (на создание потоков и синхронизацию), например, на 4 ядрах – то теоретическое ускорение составит 0,4%. Для эффективного распараллеливания прямого хода, достаточно использовать в нем параллельную функцию триангуляции.

2 Параллельное решение СЛАУ методом Гаусса-Жордана [6] в конфигурациях на 1, 2, 4, 8 и 12 потоков.

Метод Гаусса – Жордана является модификацией метода Гаусса. В отличие от метода Гаусса, который состоит из двух этапов, метод Гаусса – Жордана выполняется за один проход по столбцам. Как и в методе Гаусса для решения СЛАУ расширенная матрица системы преобразуется с помощью таких операций: смена мест двух строк; умножение всех элементов строки на некоторое число, не равное нулю; прибавление к элементам одной строки соответствующих элементов другой строки, умноженных на любой множитель.

Как и в методе Гаусса, можно менять местами и столбцы матрицы системы, но нужно запоминать новый порядок переменных в уравнениях.

3 Параллельное решение СЛАУ методом Якоби [7] в конфигурации на 8 потоков.

Метод Якоби сильно отличается от таких методов как Гаусса или Камера, т.к. является итеративным. Если для метода Гаусса можно заранее определить примерное количество выполняемых операций, то для итеративных методов сделать это нельзя. Итеративный процесс поиска решения предполагает повышение точности с каждой последующей итерацией.

СЛАУ задается матрицей коэффициентов A и векторами X (неизвестных) и B (свободных членов).

Алгоритм поиска корней можно описать следующим образом:

– ввод размерности (n), точности (eps), матриц системы, приближенных значений неизвестных (элементы начального приближения могут быть равно нулю) и свободных членов;

– расчет приближения – вектора (формула 1):

$$Y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_n \end{pmatrix} \quad (1)$$

где $y_i = \frac{1}{a_{i,i}} * \left(b_i - \sum_{j=0, j \neq i}^{n} \left(a_{i,j} * x_i\right)\right)$, для $i = j = 1 \dots n$;

– вычисление погрешности текущего приближения (формула 2):

$$eact = \max(|y_i - x_i|), i = 1 \dots n; \quad (2)$$

– если eact > e, то X = Y и переход на п.2

– конец – результат работы алгоритма – вектор X.

Результаты сравнения скорости параллельных вычислений, а значит и эффективности указанных библиотек, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты сравнения скорости решения СЛАУ библиотеками PPL и TPL

Размерность СЛАУ	Метод решения	Конфигурация потоков	Время решения, с.	
			PPL C++	TPL .Net C#
1	*2*	*3*	*4*	*5*
500×500	Гаусса	1	10,322	0,694
	Гаусса-Жордана	1	2,289	1,047
		2	2,279	0,634
		4	2,231	0,516
		8	2,236	0,517
		12	2,297	0,475
	Якоби	8	0,051	0,016
1000×1000	Гаусса	1	73,41	4,756
	Гаусса-Жордана	1	16,607	7,346
		2	16,556	4,166
		4	16,567	3,018
		8	16,571	2,566
		12	16,558	2,685
	Якоби	8	0,196	0,039
1500×1500	Гаусса	1	247,639	15,758
	Гаусса-Жордана	1	54,847	23,277
		2	55,374	11,981
		4	55,390	8,595
		8	55,243	7,494
		12	54,933	7,395
	Якоби	8	0,394	0,065

Для удобства восприятия, отобразим полученные результаты замеров времени вычислений СЛАУ с помощью графика (рисунок 1). Для большей читаемости, линии графиков одной и той же технологии, но с разным числом используемых потоков и минимальным отличием в скорости вычислений, были объединены в одну линию.

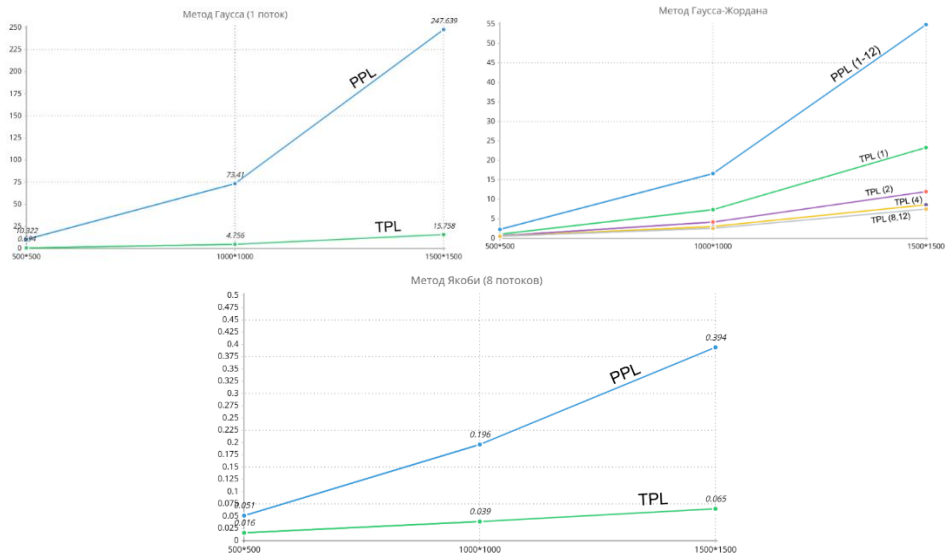


Рисунок 1 – Графики времени вычислений СЛАУ с помощью разных математических методов и конфигураций потоков

Заключение. Проведенное сравнительное исследование эффективности библиотек PPL для C++ и TPL для C#/.NET при решении систем линейных алгебраических уравнений позволило получить значимые результаты, демонстрирующие различные аспекты производительности этих технологий параллельного программирования.

Анализ экспериментальных данных выявил преимущество в скорости выполнения вычислений решений на основе TPL (.NET C#) по абсолютному времени выполнения для всех рассматриваемых размерностей СЛАУ. Наилучшие показатели быстродействия показывает

метод Гаусса-Жордана с 12 потоками: TPL демонстрирует ускорение в 4.8 раза для системы 500×500, в 6.2 раза для 1000×1000 и в 7.4 раза для 1500×1500 по сравнению с PPL. Это свидетельствует о более эффективной реализации механизмов параллельных вычислений.

Особого внимания заслуживает эффективность метода Якоби, где TPL показывает преимущество более чем в 3 раза для всех размерностей. Это указывает на оптимальную работу алгоритмов балансировки нагрузки и управления потоками в TPL, особенно для итерационных методов с высокой степенью параллелизма.

Наблюдаемое превосходство TPL можно объяснить несколькими факторами:

1 Оптимизированная работа планировщика задач в .NET, эффективно использующая work-stealing алгоритмы для балансировки нагрузки между потоками.

2 Современные JIT-оптимизации в среде выполнения .NET, которые адаптируют код под конкретную аппаратную платформу в процессе выполнения.

3 Эффективное управление памятью через сборщик мусора, минимизирующее фрагментацию памяти при работе с большими массивами данных.

4 Низкие накладные расходы на синхронизацию потоков благодаря усовершенствованным примитивам синхронизации в последних версиях .NET.

Полученные результаты показывают преимущество нативных решений на C++ над управляемым кодом C# в скорости решения задач вычислительной математики. Тем не менее, выбор языка программирования и соответствующего стека технологий должен зависеть от решаемой задачи.

Список литературы

1. *Самарский, А. А. Численные методы : учебник для вузов / А. А. Самарский, А. В. Гулин. – Москва : Наука, 2019. – 432 с. – ISBN 978-5-02-040123-4.*
2. *Microsoft Documentation [Электронный ресурс]. – Parallel Patterns Library (PPL). – Режим доступа: https://docs.microsoft.com/en-us/cpp/parallel/concrt/parallel-patterns-library-ppl. Дата доступа: 03.01.2026.*
3. *Microsoft Documentation [Электронный ресурс]. – Task Parallel Library (TPL). – Режим доступа: https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/standard/parallel-programming/task-parallel-library-tpl. Дата доступа: 03.01.2026.*
4. *Гергель, В. П. Теория и практика параллельных вычислений / В. П. Гергель. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), 2021. – 512 с. – ISBN 978-5-9556-0152-7.*
5. *Фалейчик, Б. В. Вычислительные методы алгебры: базовые понятия и алгоритмы : учеб.-метод. пособие / Б. В. Фалейчик. – Минск : БГУ, 2010. – 42 с.*
6. *Лунгу, К. Н. Высшая математика : руководство к решению задач : учеб. пособие. В 2 ч. Ч. 1 / К. Н. Лунгу, Е. В. Макаров. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 216 с.*
7. *Масловская, Л. В. Численные методы алгебры : учеб. пособие / Л. В. Масловская, О. М. Масловская. – Одесса : Укрполиграф, 2006. – 146 с.*

UDC 004.021

COMPARISON OF THE EFFICIENCY OF PARALLEL COMPUTING USING THE PPL AND TPL LIBRARIES FOR SOLVING SYSTEMS OF LINEAR ALGORITHMIC EQUATIONS

Rusetskii A.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Loginova I.P. – PhD in Technical Science, associate professor of the department of Economic Informatics

Annotation. This article provides a comparative analysis of the efficiency of two parallel programming libraries – Parallel Patterns Library (PPL) for C++ and Task Parallel Library (TPL) for C#/.NET – in solving systems of linear algebraic equations. The study includes testing on systems of dimensions 500×500, 1000×1000 and 1500×1500 using the Gaussian method, the Gauss-Jordan method and the Jacobi method.

Keywords. Parallel computing, systems of linear equations, Gaussian method, PPL, TPL, performance benchmarking, algorithm scalability, multithreaded programming.

УДК 004.93’1

ПРИМЕНЕНИЕ РАСШИРЕННЫХ БИОМЕТРИЧЕСКИХ ШАБЛОНОВ ДЛЯ УЧЕТА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ПРИ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Косарева Е.М., Кожевников Д.О.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Лихачевский Д.В. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ПИКС, заместитель начальника Секретариата Наблюдательного совета ПВТ

Аннотация. Проведено сравнение алгоритмов формирования стандартного и расширенного биометрического шаблона. Определено, что применение расширенных биометрических шаблонов в контексте задачи биометрической идентификации позволяет учитывать функциональное состояние пользователя, как один из факторов, влияющих на точность биометрии.

Ключевые слова: биометрическая идентификация, биометрические шаблоны, биометрические признаки, психофизиологическое состояние

Введение. В условиях распространения процессов цифровизации на все сферы функционирования общества и государства, на ряду с классическими методами обеспечения безопасности, активно применяются автоматизированные системы, основанные на методах биометрической идентификации. Они находят широкое применение в различных сферах, в том числе банковском секторе, на объектах критической инфраструктуры и т.д. При этом эффективность подобных систем традиционно основывается на предположении об относительной стабильности индивидуальных биометрических признаков пользователя. Однако в реальных условиях функционирования, такие признаки подвержены вариативности, обусловленной изменением психофизиологического состояния человека.

Под воздействием стресса, эмоционального напряжения, утомления и т.д. происходят изменения на физиологическом и поведенческом уровне. Это проявляется в изменении голосовых параметров, динамики моторных действий, мимических реакций, микродвижений и других показателей, что потенциально приводит к росту внутриклассовой вариативности биометрических данных и увеличению вероятности ошибок идентификации.

В связи с этим, актуальной является задача использования расширенных биометрических шаблонов как одного из методов учета психофизиологического (функционального) состояния пользователя в системах биометрической идентификации.

В данной статье авторами показано, что переход от использования классических биометрических шаблонов к расширенным позволяет учитывать вариативности биометрических признаков, вызванную колебаниями психофизиологического состояния пользователя.

Основная часть. Функциональное состояние – это совокупность (симптомокомплекс) различных характеристик, процессов, свойств и качеств, обусловливающих уровень активности систем, эффективность деятельности и поведение [1]. Функциональное состояние оказывает влияние на биометрические признаки, используемые в задачах идентификации пользователя. Именно изменения функциональных состояний обуславливают изменчивость количественных и качественных характеристик биометрических параметров одного и того же человека во времени.

Для корректной интерпретации результатов идентификации в условиях изменчивости биометрических признаков необходимо рассмотреть структуру биометрического шаблона как формализованного представления совокупности этих признаков и их допустимой вариативности.

Биометрический шаблон – совокупность характеристик, выделенных из биометрического образца, достаточная для идентификации или верификации личности [2].

Структура стандартного биометрического шаблона представляет собой фиксированный вектор признаков, извлеченных из одного или нескольких эталонных образцов (формула 1).

$$T = \mu = (\mu_1, \mu_2, ..., \mu_n), \quad (1)$$

где μ_i – среднее значение i-го биометрического признака;

n –количество используемых признаков.

Процесс формирования биометрического шаблона представлен на рисунке 1.

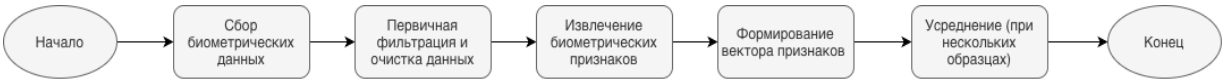


Рисунок 1 – Алгоритм формирования биометрического шаблона

Структура расширенного биометрического шаблона, в котором учитывается влияние психофизиологического состояния пользователя на биометрические параметры, представляет собой совокупность статистических параметров распределения биометрических признаков.

Пусть вектор биометрических признаков имеет размерность n (формула 2):

$$x = (x_1, x_2, ..., x_n)^T, \quad (2)$$

где x_i – i-й биометрический признак;

n – количество используемых признаков.

Тогда биометрический шаблон пользователя можно определить как параметризованную модель, в соответствии с формулой 3:

$$T = \{\mu, \Sigma\}, \quad (3)$$

где T – биометрический шаблон пользователя;

μ – вектор средних значений признаков;

Σ – ковариационная матрица признаков.

Вектор средних значений задает наиболее вероятное и устойчивое значение признака. Его можно описать формулой 4.

$$\mu = \left(\mu_1, \mu_2, ..., \mu_n\right)^T, \quad (4)$$

где μ_i – среднее значение i-го биометрического признака;

n –количество используемых признаков.

Ковариационная матрица, в свою очередь, описывает разброс биометрических признаков и взаимосвязь их изменений. Она показывает, насколько изменения одного биометрического признака связаны с изменениями другого и как сильно признаки варьируются относительно среднего значения. Ковариационную матрицу можно представить формулой 5.

$$\sum = \begin{pmatrix} \sigma_1^2 & cov\,(x_2, x_1) & \dots & cov\,(x_1, x_n) \\ cov\,(x_2, x_1) & \sigma_2^2 & \cdots & cov\,(x_2, x_n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ cov\,(x_n, x_1) & cov\,(x_n, x_2) & \cdots & \sigma_n^2 \end{pmatrix}, \quad (5)$$

где σ_i^2 – дисперсия i-го признака, характеризующая его разброс;

$cov\,(x_i, x_j)$ – ковариация между i-м и j-м признаками.

Таким образом, расширенный биометрический шаблон позволяет задать многомерную область допустимых значений в пространстве признаков, что позволяет учитывать изменения биометрических параметров, вызванных колебаниями функционального состояния пользователя, и их взаимосвязи. Процесс формирования расширенного биометрического шаблона представлен на рисунке 2.

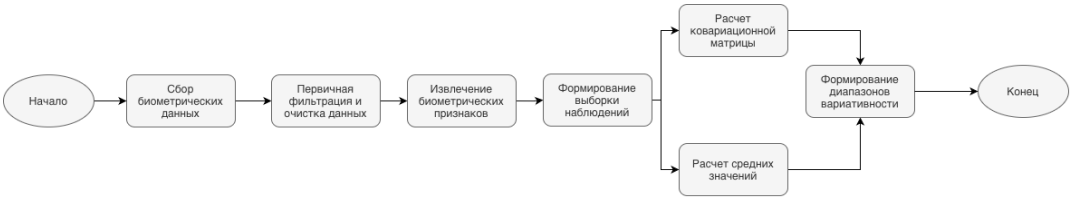


Рисунок 2 – Алгоритм формирования расширенного биометрического шаблона

Подводя итог, применение расширенных биометрических шаблонов в задаче идентификации личности позволяет адаптировать систему к колебаниям психофизиологического состояния пользователя и потенциально может привести к снижению количества ложных результатов идентификации. При этом функциональное состояние пользователя рассматривается не как фактор снижения точности биометрии, а как один из факторов, который может учитываться при построении адаптивной модели биометрической идентификации.

Заключение. Выполнено описание перехода от стандартных биометрических шаблонов к расширенным в контексте задачи биометрической идентификации. Отмечено, что в отличие от стандартного, расширенный шаблон включает в себя параметры вариативности (дисперсию, ковариационную структуру, допустимые диапазоны отклонений и динамические характеристики) биометрических признаков, что позволяет учитывать их естественные колебания, обусловленные психофизиологическим состоянием, и тем самым повышать устойчивость системы идентификации к функциональным изменениям пользователя.

Список литературы

1. *Функциональные состояния как регулятор профессиональной деятельности [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://uch.lecture.center/psihologiya-truda-uchebniki/funktsionalnyie-sostoyaniya-kak-regulyator-25463.html?utm. Дата доступа: 23.02.2026.*

2. *ГОСТ Р 52633.5-2011 «Защита информации. Техника защиты информации. Автоматическое обучение нейросетевых преобразователей биометрия-код доступа». – М.: Стандартинформ, 2011.*

UDC 004.93’1

APPLICATION OF EXTENDED BIOMETRIC TEMPLATES TO ACCOUNT FOR THE USER'S FUNCTIONAL STATE IN IDENTIFICATION

Kosareva E.M., Kozhevnikov D.O.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Likhacheuski D.V. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD, Deputy Head of the Secretariat of the Supervisory Board of the High-Tech Park

Annotation. A comparison of algorithms for generating standard and extended biometric templates was conducted. It was determined that the use of extended biometric templates in the context of biometric identification allows for the user's functional state to be taken into account as one of the factors influencing biometric accuracy.

Keywords: biometric identification, biometric templates, biometric characteristics, psychophysiological state

УДК 004.4:339.1

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО ПОИСКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ДЛЯ ТОРГОВЛИ НА МАРКЕТПЛЕЙСАХ

Крино О.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Косарева Е.М. – магистр, ассистент кафедры ПИКС

Аннотация. Экспериментально исследовано функционирование программного средства поиска перспективных торговых направлений в условиях обработки больших объемов данных. Установлено, что снижение достоверности формируемых рекомендаций наступает при увеличении доли некорректных записей в *JSON*-пакетах свыше 7,4 % от общего объема выборки. Предложена методика контроля бизнес-логики программного средства, основанная на верификации функциональных блоков обработки данных. Разработаны структурные схемы взаимодействия серверной и клиентской частей программного средства для обеспечения точности бизнес-анализа.

Ключевые слова: маркетплейс, бизнес-анализ, программное средство, бизнес-логика, *REST*-архитектура, автоматизация аналитики

Введение. Современные требования к автоматизации аналитических процессов, связанные с преобразованием больших объемов данных с маркетплейсов в обоснованные рекомендации, выдвигают задачу контроля качества бизнес-логики программных средств на одно из первых мест. Программные решения, имеющие распределенную *REST*-архитектуру, обладают повышенной чувствительностью к структуре и полноте входных данных, что требует поиска дефектов в алгоритмах ранжирования на ранних этапах [1]. В данной статье автором показано, что ухудшение качества выходных рекомендаций программного средства наступает при накоплении статистических аномалий, что может привести к принятию ошибочных стратегических решений по развитию торговли.

Основная часть. При контроле функционирования программного средства (ПС), предназначенного для поиска перспективных направлений, необходимо решить две задачи:

– обеспечить достаточную полноту автоматизированного тестирования алгоритмов;

– определить функциональные блоки (ФБ), ответственные за возникновение логических ошибок в аналитических отчетах.

Для обеспечения чистоты эксперимента и проверки корректности взаимодействия компонентов системы процесс анализа был разделен на две области, в соответствии с рисунком 1.

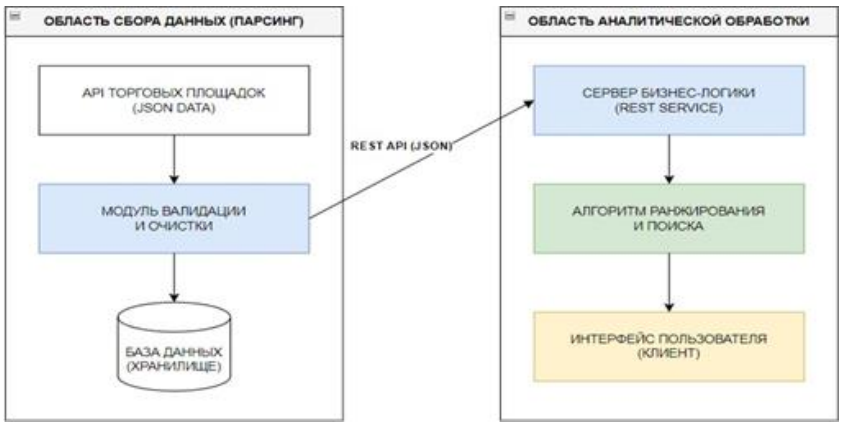


Рисунок 1 – Схема взаимодействия областей сбора данных и аналитической обработки

На представленной схеме (рисунок 1) визуализирована высокоуровневая архитектура программного средства, спроектированная согласно принципам распределенных систем. Взаимодействие компонентов организовано через разделение зон ответственности на две ключевые области: сбор данных и их глубокую аналитическую обработку.
Опишем каждую из областей:

1 Область сбора данных (Парсинг). Данная область отвечает за первичную интеграцию с внешними источниками. Процесс начинается с обращения к *API* торговых площадок, откуда поступают массивы данных о продажах, остатках и ценах в формате *JSON*. Ключевым звеном здесь является модуль валидации и очистки, который выполняет предварительную фильтрацию «сырых» данных. Его задача – это исключение аномальных всплесков (например, самовыкупов или технических ошибок площадки), которые могут исказить итоговый результат. После верификации структурированная информация сохраняется в базе данных (хранилище), обеспечивая историчность данных для последующего трендового анализа.

2 Область аналитической обработки. Эта область представляет собой «ядро» системы, реализованное в виде сервера бизнес-логики (*REST Service*). Использование архитектурного стиля *REST* позволяет изолировать вычислительные процессы от интерфейсной части. Основным функциональным элементом здесь является алгоритм ранжирования и поиска, который на основе математических моделей преобразует сухие цифры в конкретные показатели перспективности рыночных ниш. Конечным этапом является передача обработанных данных в интерфейс пользователя (клиент), где бизнес-аналитик получает визуализированные рекомендации для принятия управленческих решений.

Связующим звеном между областями выступает *REST API (JSON).* Такое решение обеспечивает масштабируемость системы: модуль сбора данных может работать независимо от аналитического модуля, а передача данных в универсальном формате *JSON* гарантирует высокую скорость обработки и совместимость компонентов. Данная структура полностью соответствует техническим требованиям дипломного проекта по созданию распределенного программного обеспечения с четким разделением клиентской и серверной частей.

Испытуемое программное средство было представлено в виде ряда функциональных блоков, реализованных в архитектурном стиле *REST*. Для тестирования ФБ был разработан набор тестовых программ (ТП), обеспечивающих последовательность верификации бизнес-логики в составе ПС (таблица 1):

Таблица 1 – Последовательность тестирования ФБ МК

№ тестовой программы	**Область тестирования**
ТП1	верификация корректности парсинга *JSON*-данных серверной частью
ТП2	тестирование алгоритмов ранжирования в модуле бизнес-логики

На рисунке 2 представлена логическая последовательность работы аналитического модуля, обеспечивающая преобразование входных массивов данных в обоснованные бизнес-рекомендации. Алгоритм включает в себя несколько критических стадий обработки:

1 Инициализация и загрузка. Процесс начинается с получения *JSON*-пакетов через *REST*-интерфейс. На этом этапе программное средство подготавливает среду для обработки данных, извлекая необходимые параметры (цены, объемы продаж, количество конкурентов).

2 Контроль целостности и верификация. Данный этап является ключевым для обеспечения достоверности анализа. Программа проверяет структуру *JSON* и полноту данных. Согласно проведенным исследованиям, именно на этом этапе выявляется «зашумленность» выборки. Если уровень ошибок превышает допустимый предел, система инициирует цикл дозагрузки данных для предотвращения искажения итоговых индексов.

3 Вычисление аналитических показателей. После успешной валидации модуль переходит к расчету интегральных показателей. Тренд спроса: определение динамики продаж за ретроспективный период. Уровень конкуренции: анализ концентрации продавцов в нише. Индекс прибыльности: сопоставление потенциальной выручки и затрат. Формирование

ивывод рекомендаций. На финальном этапе алгоритм классифицирует ниши по степени перспективности и формирует отчет, который передается в интерфейс пользователя (клиентскую часть).

Общий алгоритм функционирования модуля аналитики, отвечающего за поиск перспективных ниш, представлен в виде блок-схемы (рисунок 2). Данная схема отражает логику преобразования «сырых» данных о продажах в конкретные рекомендации.

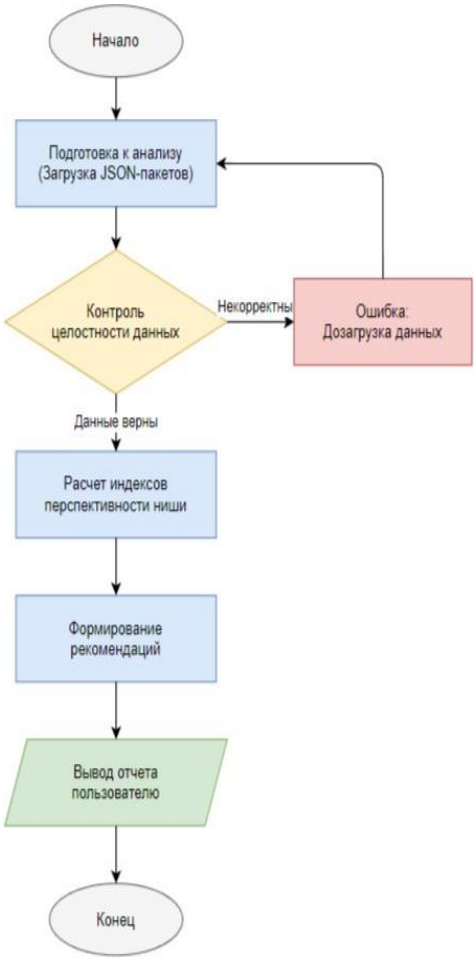


Рисунок 2 – Алгоритм функционального аналитического модуля программного средства

Контроль функционирования блоков (ФБ) программного средства осуществлялся путем циклической синхронизации с *API* торговых площадок. После прохождения всего набора тестовых сценариев производился глубокий анализ отклонения расчетных показателей от эталонных значений.

Установлено, что выход из строя или некорректный результат работы «модуля аналитики» чаще всего обусловлен спецификой организации бизнес-логики. Данный модуль строится на базе процедур агрегации, обладающих не только режимами хранения информации, но и программными фильтрами для отсечения аномальных всплесков продаж (самовыкупов). Реализация таких механизмов верификации на стороне сервера делает аналитический блок чувствительным к пропускам или искажениям данных, в отличие от простых транспортных модулей системы.

Заключение. Выполнен анализ влияния качества входных данных на результаты поиска перспективных направлений в разработанном программном средстве. Впервые установлено, что в аналитическом блоке ПС при накоплении ошибок в *JSON*-структурах свыше 7,4 % происходят критические искажения в отчетах, что ведет к некорректному выполнению запрограммированных функций. Определено, что изменения в точности анализа обусловлены

отсутствием эффективной фильтрации аномалий на этапе первичной обработки данных. Предложена методика функционального контроля ПС, основанная на разделении процессов сбора и анализа данных, что позволяет своевременно выявлять логические дефекты в программном коде.

Список литературы

1. *Kleppmann, M. Designing Data-Intensive Applications: The Big Ideas Behind Reliable, Scalable, and Maintainable Systems / Martin Kleppmann. – Sebastopol : O'Reilly Media, 2017. – 616 p. – ISBN 978-1-449-37332-0.*

2 *Fielding, R. T. Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures / Roy Thomas Fielding // Slovak international scientific journal. – 2021. – Vol. 2, N 48. – Pp. 14–29*

3. *Алексеев, В. Ф. Проектирование и разработка распределенных информационных систем на базе REST-архитектуры / В. Ф. Алексеев // Вестник БГУИР. – 2022. – № 4. – С. 45–52.*

4. *Вигерс, К. Разработка требований к программному обеспечению / К. Вигерс, Д. Битти. – М. : БХВ-Петербург, 2019. – 736 с. – ISBN 978-5-9775-3348-5.*

UDC 004.4:339.1

SOFTWARE TOOL FOR FINDING PROMISING DIRECTIONS FOR TRADING ON MARKETPLACES

Krino O.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Kosareva E.M. –master of tech. sciences, assistant of the department of ICSD

Annotation. The functioning of a software tool for finding promising trading directions under conditions of processing large volumes of data has been experimentally investigated. It was found that a critical decrease in the reliability of the generated recommendations occurs when the share of incorrect or incomplete records in JSON packets exceeds 7.4% of the total sample volume. A method for controlling the business logic of a software tool based on the verification of functional blocks is proposed. Schemes for the interaction of data collection and processing areas, as well as an algorithm for the analytical module's operation, have been developed.

Keywords: marketplace, business analysis, software tool, business logic, REST architecture, analytics automation

УДК 004.415.23

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ БАНКОВСКОГО МОШЕННИЧЕСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИБРИДНЫХ АЛГОРИТМОВ

Правоторова А.Ю.

Академия управления при Президенте Республики Беларусь, г.Минск, Республика Беларусь

Шабанович Р.А. – ст. преподаватель кафедры УИР

Аннотация. Данная работа представляет разработку интеллектуальной системы для выявления сложных мошеннических схем в банковских транзакциях. Система реализует гибридный подход, объединяющий квантово-графовый анализ, нейроморфные вычисления и эволюционную оптимизацию для обнаружения новых и адаптивных угроз. Решение обеспечивает высокую точность обнаружения при минимальном уровне ложных срабатываний в условиях реального времени.

Ключевые слова: обнаружение мошенничества, гибридные алгоритмы, транзакции, анализ, нейроморфные вычисления, банк, безопасность

Введение. Современное банковское мошенничество эволюционирует быстрее традиционных систем защиты. Классические подходы на основе статических правил неэффективны против скоординированных атак с использованием социальной инженерии и искусственной легитимизации паттернов [1]. Данная работа предлагает инновационную архитектуру системы обнаружения на основе синтеза четырех методологий: квантово-вдохновленных графовых алгоритмов [2], нейроморфных вычислений [3], гиперграфового анализа [4] и эволюционной оптимизации [5]. Гибридный подход преодолевает ограничения отдельных методов, создавая систему для выявления как известных, так и новых схем мошенничества.

Основная часть. В основе системы лежит квантово-вдохновленный процессор графовой обработки, который имитирует принципы квантовой механики для анализа сложных сетевых структур финансовых транзакций.

В отличие от классических графовых алгоритмов, которые анализируют связи между узлами по отдельности, квантовый подход позволяет рассматривать всю сеть как единую квантовую систему, где состояния представляют собой суперпозиции возможных путей транзакций. Этот метод особенно эффективен для обнаружения слабых корреляций и скрытых зависимостей, которые не проявляются при статистическом анализе отдельных пар узлов. Алгоритм квантовой ходьбы реализует интерференцию амплитуд вероятностей, при которой легитимные паттерны взаимно гасятся, а аномальные – усиливаются, что аналогично принципу квантового усиления в физических системах [6]. Технически это достигается через вычисление фазовых сдвигов для каждой пары вершин графа с последующим накоплением интерференционной картины в течение множества временных итераций. Важным аспектом является использование экспоненциального затухания для моделирования декогеренции – процесса, который в реальных квантовых системах приводит к потере когерентности, но в нашем случае служит фильтром для устранения случайных шумовых корреляций.

Второй ключевой компонент системы – нейроморфная сеть, архитектура которой заимствована из принципов организации коры головного мозга. В отличие от традиционных нейронных сетей, основанных на математических абстракциях, нейроморфная реализация воспроизводит биологически правдоподобные механизмы обработки информации, включая спайковую передачу сигналов, зависимую от времени пластичность (STDP) [7] и модуляцию нейромедиаторами. Каждый искусственный нейрон в системе поддерживает состояние мембранного потенциала, которое изменяется под влиянием входных сигналов, и генерирует спайк при превышении порогового значения. Этот подход обеспечивает временную точность обработки, критически важную для анализа последовательностей финансовых операций, где

временные интервалы между транзакциями часто содержат диагностически значимую информацию. Система нейромедиаторов моделирует три ключевых химических регулятора: дофамин, выполняющий функцию системы вознаграждения и усиливающий связи, соответствующие выявленным аномальным паттернам; серотонин, стабилизирующий обучение и предотвращающий переобучение; и норадреналин, повышающий чувствительность системы к неожиданным событиям [8].

Для моделирования многомерных отношений в финансовых операциях система использует гиперграфы – математическую структуру, обобщающую понятие графа, где одно ребро может соединять произвольное количество вершин. Каждое гиперребро инкапсулирует не только факт транзакции, но и многомерные метаданные, включая временные метки, географические координаты, категории операций и поведенческие контексты. Аналитический модуль вычисляет набор топологических метрик, характеризующих структурные свойства гиперграфа: коэффициент кластеризации, отражающий локальную плотность связей; распределение центральности вершин, показывающее неравномерность влияния различных узлов сети; спектральный разрыв, являющийся индикатором связности всей системы. Для вычисления спектральных характеристик реализован алгоритм степенных итераций. Обнаружение аномальных структур основано на многокритериальной оценке, учитывающей отклонения в весовом распределении, нестандартные размеры гиперребер и темпоральные аномалии. При этом система способна выявлять не только явные нарушения, но и слабые сигналы, которые в отдельности могут казаться легитимными, но в совокупности образуют подозрительные паттерны.

Четвертый компонент системы – эволюционный оптимизатор, который непрерывно совершенствует набор правил обнаружения мошенничества, используя принципы генетических алгоритмов. В отличие от статических систем правил, которые быстро устаревают, эволюционный подход позволяет адаптироваться к изменяющимся тактикам мошенников. Каждое правило кодируется в виде хромосомы, содержащей гены параметров и весов, определяющих чувствительность к различным типам аномалий. Система поддерживает пять категорий правил, каждая из которых специализируется на определенном аспекте анализа: временные корреляции выявляют нестандартные временные паттерны в последовательностях операций; кластеризация сумм обнаруживает аномальные группировки транзакций по величине; сетевая центральность анализирует структурную позицию аккаунта в транзакционном графе; последовательные паттерны распознают сложные поведенческие шаблоны; географические аномалии выявляют логистические несоответствия в операциях. Процесс оптимизации использует турнирную селекцию и адаптивную мутацию, где скорость мутаций динамически регулируется в зависимости от эффективности конкретной хромосомы – менее успешные правила подвергаются более интенсивным изменениям, в то время как эффективные правила стабилизируются. Оценка приспособленности происходит на синтетически сгенерированных данных, моделирующих как легитимные, так и мошеннические операции, при этом система способна продолжать обучение на реальных данных без существенной деградации производительности.

Интеграция компонентов достигается через многоуровневую архитектуру, где каждая подсистема вносит вклад в формирование итоговой оценки. Процесс обработки транзакции начинается с преобразования исходных данных в многомерный вектор признаков, включающий нормализованные финансовые показатели, темпоральные характеристики, категориальные атрибуты и контекстуальные метаданные. Нейроморфная сеть производит первичную оценку, используя биологические механизмы распознавания паттернов, и формирует спайковый выходной вектор, где активность каждого нейрона соответствует определенному аспекту анализируемой транзакции. Одновременно эволюционный оптимизатор применяет текущий набор правил, генерируя оценку по каждому из пяти категориальных направлений анализа. Параллельно транзакция интегрируется в гиперграфовую модель, где производится структурный анализ в контексте предыдущих операций. Итоговая оценка формируется как взвешенная комбинация четырех компонентов с коэффициентами, отражающими доверие к каждому источнику на основе исторической точности. Критически важным аспектом архитектуры является механизм обратной связи, где результаты обнаружения используются для адаптивной настройки всех компонентов:

нейроморфная сеть регулирует пороги активации нейронов, эволюционный оптимизатор обновляет популяцию правил, гиперграфовая модель пересчитывает веса связей, а база паттернов пополняется новыми схемами.

Заключение. Предложенная гибридная архитектура демонстрирует значительный потенциал благодаря синергии разнородных подходов. Ее ключевое преимущество – способность выявлять сложные, распределенные схемы мошенничества, недоступные традиционным системам. Адаптивность, обеспеченная эволюционной оптимизацией и нейроморфным обучением, позволяет непрерывно совершенствоваться. Перспективные направления: интеграция с анализом неструктурированных данных, распределенная обработка для крупных банковских групп, прогнозирование новых схем. Внедрение таких систем способно повысить безопасность финансовых операций и снизить экономические потери.

Список литературы

1. Эконометрика в биржевой аналитике: современные подходы и методы – > Machine Learning Guru| : [сайт]. – Дмитрий Крылов, 2026. – URL: https://mlgu.ru/2401/?utm_source=yandex&utm_medium=organic (дата обращения: 20.01.2026).

2. Revolutionary Breakthrough: Graphene Processor Makes AI 10X Faster : [bibliographic database]. – [Tolify.ai], 2026. – URL: https://www.toolify.ai/ai-news/revolutionary-breakthrough-graphene-processor-makes-ai-10x-faster-1509408 (date of access: 22.01.2026).

3. Neuromorphic Hardware and Computing | by IEEE Computer Society - VIT | Medium : [bibliographic database]. – [Medium], 2026. – URL: https://medium.com/@IEEE_Computer_Society_VIT/neuromorphic-hardware-and-computing-f7cc8f71ed58 (date of access: 22.01.2026).

4. Гиперграфы и устойчивость сетей: как математика предотвращает кризисы : [сайт]. – Innovanes.ru, 2008-2026. – URL: https://innovanews.ru/info/news/internet/matematika-khaosa-kak-predskazat-kogda-rukhnet-sistema/ (дата обращения: 25.01.2026).

5. Руководство по эволюционным алгоритмам | Ultralytics : [сайт]. – Ultralytics, 2008-2026. – URL: https://www.ultralytics.com/ru/blog/what-is-an-evolutionary-algorithm-a-quick-guide (дата обращения: 26.01.2026).

6. Frontiers | Quantum Walk-Based Vehicle Routing Optimisation : [bibliographic database]. – [Frontiers Media SA], 2026. – URL: https://www.frontiersin.org/journals/physics/articles/10.3389/fphy.2021.730856/full (date of access: 27.01.2026).

7. Frontiers | Adaptive STDP-based on-chip spike pattern detection : [bibliographic database]. – [Frontiers Media SA], 2026. – URL: https://www.frontiersin.org/journals/neuroscience/articles/10.3389/fnins.2023.1203956/full (date of access: 27.01.2026).

8. Нейромедиаторный обмен | Статьи и материалы на сайте «Chromolab». : [сайт]. – Chromolab, 2026. – URL: https://www.chromolab.ru/spetsialistam/stati-i-materialy/neyromediatornyy-obmen/ (дата обращения: 02.02.2026).

UDC 004.415.23

DEVELOPMENT OF A BANK FRAUD DETECTION SYSTEM USING HYBRID ALGORITHMS

Pravotorova A.Yu.

Academy of Public Administration under the President of the Republic of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

Shabanovich R.A. – Senior Lecturer of the Department of Management Information Resources

Annotation. This paper presents the development of an intelligent banking fraud detection system designed to identify complex fraudulent transaction schemes in real time. The proposed solution is based on a hybrid approach integrating quantum-inspired graph analysis, neuromorphic computing, hypergraph modeling, and evolutionary optimization techniques. The system enables the detection of both known and previously unseen adaptive fraud patterns by combining structural, temporal, and behavioral transaction analysis. Experimental architectural evaluation demonstrates that the hybrid model provides high fraud detection accuracy while maintaining a low false positive rate under dynamic financial environments. The adaptive learning mechanisms embedded in the architecture ensure continuous refinement of detection rules and pattern recognition models, making the system suitable for deployment in modern banking infrastructures.

Keywords: fraud detection, hybrid algorithms, banking transactions, graph analysis, neuromorphic computing, financial security

УДК 004.021:519.857

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИТОВОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ В ИНФОРМАЦИОННО-КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМАХ НА ПРИМЕРЕ ЗАДАЧИ О РЮКЗАКЕ 0-1

Марковец Р.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Мигалевич С.А. – магистр техн. наук, ст. преподаватель кафедры информатики

Аннотация. Экспериментально исследована практическая эффективность битовой оптимизации динамического программирования для задачи о рюкзаке 0-1 в контексте вычислительных модулей информационно-компьютерных систем. Установлено, что реальное ускорение составляет от 15,6 до 21,0 раза в зависимости от распределения весов предметов, что в 3-4 раза ниже теоретического предела ускорения в 64 раза. Выявлены основные факторы расхождения: кэш-промахи при обработке битового множества, накладные расходы библиотечной реализации и межсловные сдвиги.

Ключевые слова: битовое множество, задача о рюкзаке, оптимизация алгоритмов, практическая эффективность, спортивное программирование, информационно-компьютерные системы, вычислительные модули

Введение. Битовая оптимизация динамического программирования (далее – ДП) на основе битовых множеств применяется в информационно-компьютерных системах реального времени [1]:

– в логистике – для решения задачи о рюкзаке 0-1 (далее – задача о рюкзаке);

– в телекоммуникациях – при распределении каналов;

– в криптоанализе;

– во встраиваемых системах и сетевых устройствах с ограниченными вычислительными ресурсами.

Повсеместно требуется обрабатывать десятки тысяч предметов за миллисекунды, и битовая оптимизация позволяет уложиться в жесткие временные рамки. Однако на практике теоретический выигрыш в 64 раза недостижим из-за факторов, не учитываемых асимптотической моделью.

При проектировании вычислительных модулей опираться только на оценку ускорения в 64 раза недостаточно. Реальная производительность ограничена задержками памяти, кэш-промахами, накладными расходами языковых конструкций и свойствами входных данных. Предсказать ускорение без эксперимента невозможно, поэтому цель работы – количественно оценить фактическую эффективность битовой оптимизации.

В исследовании планируется сравнить наивное ДП на булевом массиве и оптимизированную версию с *bitset* на различных наборах весов. Будут измерены ускорение и проведен анализ ограничивающих факторов. Результаты позволят разработчикам информационно-компьютерных систем точнее прогнозировать эффект от данной оптимизации.

Основная часть. Рассматривается классическая задача о рюкзаке [2]. Имеется множество из n предметов, каждый предмет i характеризуется целым неотрицательным весом w_i. Вместимость рюкзака характеризуется целым неотрицательным числом W. Требуется выбрать подмножество предметов так, чтобы их суммарный вес не превышал W и был максимален.

Наивный метод ДП использует булев массив dp размером $W+1$, где элемент с индексом s показывает, достижима ли сумма s. Начальное состояние: достижима только нулевая сумма. Для каждого предмета весом w массив обновляется в порядке убывания s от W до w по формуле (1):

$$dp[s] := dp[s]\ OR\ dp[s - w], \quad (1)$$

где *OR* – логическое ИЛИ.

После обработки всех предметов ответом служит наибольший индекс *s*, для которого значение истинно. Временная сложность такого решения составляет *O(nW)*, память – *O(W)*.

Булев массив можно заменить битовым множеством (*bitset*) [3]. В такой структуре каждый бит соответствует одной сумме: если бит установлен, сумма достижима. Битовое множество хранится как последовательность машинных слов, что позволяет выполнять логические операции и сдвиги сразу над группами битов. Добавление предмета весом *w* сводится к формуле (2):

$$B := B\ OR\ (B \ll w), \quad (2)$$

где *B* – текущее битовое множество;

$\ll w$ – побитовый сдвиг влево на *w* позиций.

Эта операция одновременно добавляет все суммы, увеличенные на *w*, к уже достигнутым. Современные 64-разрядные процессоры обрабатывают 64 бита за один такт, что в идеальных условиях должно давать ускорение в 64 раза по сравнению с наивной версией. Однако на практике достичь такого ускорения мешают ограничения аппаратного обеспечения и накладные расходы, связанные с реализацией битовых множеств.

Экспериментальное исследование проводилось на ноутбуке с 64-разрядным процессором *Intel* тактовой частотой около 3 ГГц. Выбор платформы не является определяющим: относительное ускорение, достигаемое за счет битовой оптимизации, слабо зависит от конкретной модели процессора, поскольку определяется прежде всего разрядностью архитектуры и общими принципами организации памяти, едиными для подавляющего большинства вычислительных устройств, применяемых в информационно-компьютерных системах. Таким образом, полученные результаты репрезентативны для широкого класса платформ.

Программная реализация выполнена на языке *C++*. Для наивного ДП применялся булев массив на основе специализации *std::vector<bool>*. В оптимизированной версии булев массив заменен битовым множеством фиксированного размера. Поскольку вместимость рюкзака принята равной $W = 10^6$, использовалось битовое множество размером *W+1 = 1 000 001* бит (в синтаксисе языка – *std::bitset<1000001>*). Операции сдвига и логического ИЛИ над битовым множеством реализованы встроенными средствами библиотеки. Время выполнения измерялось с помощью *std::chrono::high_resolution_clock*. Каждый эксперимент повторялся пять раз для учета случайных отклонений.

Генерация входных данных выполнялась для трех распределений весов: равномерного, геометрического и гармонического. Выбор обусловлен необходимостью оценить влияние структуры набора предметов на ускорение. Худшие случаи на практике редки, тогда как выбранные распределения охватывают широкий спектр реальных ситуаций. Для каждого распределения генерировалось по 1000 предметов.

Полученные отношения времени выполнения наивной реализации ко времени работы с битовым множеством приведены в таблице 1:

Таблица 1 – Отношение времени выполнения алгоритмов, мс

Распределение	Запуск 1	Запуск 2	Запуск 3	Запуск 4	Запуск 5	Среднее
Равномерное	16.1	16.6	16.5	17.1	15.6	16.4
Геометрическое	15.3	15.4	15.4	18.5	13.7	15.6
Гармоническое	20.6	21.3	21.1	20.6	21.3	21.0

Выявленное расхождение между теоретическим ускорением в 64 раза и полученными на практике 16-21 разом объясняется совокупностью нескольких факторов, например:

– ограничения, связанные с иерархией памяти: битовое множество размером 125 КБ не помещается в кэш первого уровня, что вызывает задержки при обращениях к памяти;

– накладные расходы реализации битового множества в стандартной библиотеке: дополнительные инструкции для проверки границ и циклической обработки слов;

– межсловные сдвиги: при сдвигах, не кратных 64, возникают переносы битов между машинными словами, требующие дополнительных операций.

Заключение. В ходе экспериментального исследования установлено, что битовая оптимизация ДП для задачи о рюкзаке на основе битовых множеств обеспечивает реальное ускорение от 15,6 до 21,0 раза в зависимости от распределения весов предметов. Это значительно ниже теоретического предела в 64 раза. Основными причинами расхождения являются кэш-промахи при обработке битового множества, которое не помещается в кэш первого уровня, накладные расходы библиотечной реализации, а также дополнительные операции при межсловных сдвигах.

Полученные результаты свидетельствуют о критическом расхождении между теоретической и практической эффективностью: реальный выигрыш в 3-4 раза ниже ожидаемого. При проектировании вычислительных модулей информационно-компьютерных систем опора исключительно на теоретическую оценку ускорения может привести к завышенным ожиданиям и, как следствие, к ошибочному выбору методов оптимизации.

Представленные количественные оценки могут быть использованы разработчиками информационно-компьютерных систем в качестве ориентира при приближенной оценке эффекта от внедрения битовой оптимизации в задачах дискретной оптимизации, подобных задаче о рюкзаке. Результаты работы также подчеркивают важность экспериментальной валидации алгоритмических оптимизаций в контексте реальной вычислительной среды.

Список литературы

1 *Окулов С. М., Пестов О. А. Динамическое программирование / С. М. Окулов, О. А. Пестов. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2018. 296 с.*

2. *Kellerer H., Pferschy U., Pisinger D. Knapsack Problems / H. Kellerer, U. Pferschy, D. Pisinger. 1st ed. Berlin, Heidelberg: Springer, 2004. 548 p.*

3. *bitset Class Template Reference [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://gcc.gnu.org/onlinedocs/libstdc++/libstdc++-html-USERS-4.1/classstd_1_1bitset.html. Дата доступа: 12.02.2026.*

UDC 004.021:519.857

OPTIMIZATION OF COMPUTATIONAL MODULES IN INFORMATION AND COMPUTER SYSTEMS: A CASE STUDY OF THE KNAPSACK PROBLEM

Markovets R.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Migalevich S.A. – Master of Tech. Sci, senior lecturer at the department of computer science

Annotation. The practical efficiency of bit optimization of dynamic programming for the 0-1 knapsack problem in the context of computational modules of information and computer systems has been experimentally studied. The actual speedup is found to range from 15.6 to 21.0 times depending on the item weight distribution, which is 3-4 times lower than the theoretical speedup limit of 64 times. The main factors contributing to this discrepancy are identified: cache misses during bitset processing, overhead of the library implementation, and cross-word shifts.

Keywords: bitset, knapsack problem, algorithm optimization, practical efficiency, competitive programming, information-computer systems, computational modules

УДК 004.424.62

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ НЕЧЕТКОГО СРАВНЕНИЯ СТРОК ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОНЛАЙН-ВИКТОРИН

Лямцев Г.К.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Марков А.Н. – магистр техн. наук, ст. преподаватель кафедры информатики

Аннотация. Сравнительный анализ алгоритмов нечеткого сравнения строк. Исследованы алгоритмы Левенштейна, Дамерау-Левенштейна и Джаро-Винклера. Экспериментально определена зависимость F1-меры от порога принятия решения для каждого алгоритма. Установлено, что алгоритм Дамерау-Левенштейна при пороге не больше 2 символа обеспечивает наилучшую F1-меру 92,9%. Для алгоритмов сходства оптимальным является порог 0,8 для Джаро-Винклера (F1-мера равна 88,8%).

Ключевые слова: нечеткое сравнение, метрики строкового расстояния, расстояние Левенштейна, онлайн-викторины, порог принятия решения, F1-мера.

Введение. Современные информационные системы онлайн-обучения активно используют интерактивные викторины для контроля знаний. Традиционные методы проверки текстовых ответов, основанные на точном совпадении строк, не учитывают естественные опечатки пользователей.

Ключевой задачей при применении алгоритмов нечеткого сравнения является выбор оптимального порога принятия решения. Слишком низкий порог для алгоритмов Левенштейна и Дамерау–Левенштейна приводит к отклонению правильных ответов с незначительными опечатками, а слишком высокий – к принятию неправильных ответов. Необходим баланс между точностью и полнотой распознавания [1].

Целью данной работы является проведение сравнительного анализа алгоритмов нечеткого сравнения, экспериментальное определение зависимости F1-меры от порога принятия решения и формулирование рекомендаций по выбору оптимального алгоритма и порога для систем онлайн-викторин.

Основная часть. Для сравнительного анализа было рассмотрено 3 алгоритма: расстояние Левенштейна, расстояние Дамерау-Левенштейна и коэффициент Джаро-Винклера.

Расстояние Левенштейна определяется как минимальное количество операций редактирования, необходимых для преобразования одной строки в другую. Алгоритм использует три типа операций с единичной стоимостью: вставка символа, удаление символа и замена одного символа на другой. Для вычисления расстояния строится матрица размером $(m+1)\times(n+1)$, где m и n – длины сравниваемых строк. Каждая ячейка матрицы содержит минимальное расстояние между префиксами строк. Заполнение происходит динамически: для каждой позиции выбирается минимум из трех возможных операций. Вычислительная сложность алгоритма составляет $O(m\times n)$. Ответ считается правильным, если расстояние не превышает заданного порога θ [2].

Расстояние Дамерау-Левенштейна является расширением алгоритма Левенштейна с учетом транспозиции двух соседних символов [3].

Коэффициент Джаро-Винклера представляет собой метрику сходства, возвращающую значение от 0 (полное несовпадение) до 1 (точное совпадение). Алгоритм работает в два этапа. Сначала вычисляется базовая метрика Джаро, которая учитывает количество совпадающих символов и их транспозиции. Символы считаются совпадающими, если они одинаковы и находятся не дальше определенного расстояния друг от друга. Затем применяется модификация Винклера, добавляющая бонус за совпадение начальных символов строк [4].

Для оценки зависимости эффективности алгоритмов от порога принятия решения был сформирован тестовый набор из 500 пар ответа пользователя и правильного ответа, где каждый ответ пользователя помечался либо правильным, либо неправильным. Были

включены следующие типы ошибок: опечатки (1-2 символа), транспозиции соседних символов, лишние пробелы и знаки препинания.

В качестве метрик качества использовались:

– Точность – доля правильно принятых ответов среди всех принятых.

– Полнота – доля обнаруженных правильных ответов среди всех правильных.

– F1-мера – гармоническое среднее точности и полноты.

Для каждого алгоритма порог варьировался в следующих диапазонах: для Левенштейна и Дамерау-Левенштейна от 0 до 5 символов, для Джаро-Винклера от 0,60 до 0,90.

Результаты экспериментального исследования зависимости проверяемых метрик от порога для алгоритма Левенштейна представлены в таблице 1:

Таблица 1 – Результаты анализа алгоритма Левенштейна

Порог (символов)	**Точность (%)**	**Полнота (%)**	**F1-мера (%)**
0	100,0	45,0	62,1
1	95,2	72,5	82,3
2	87,3	91,5	89,4
3	78,5	96,8	86,8
4	69,2	98,5	81,3
5	61,5	99,2	75,9

Анализ данных показывает, что оптимум достигается при пороге 2 символа с F1-мерой 89,4%.

Результаты экспериментального исследования зависимости проверяемых метрик от порога для алгоритма Дамерау-Левенштейна представлены в таблице 2:

Таблица 2 – Результаты анализа алгоритма Дамерау-Левенштейна

Порог (символов)	**Точность (%)**	**Полнота (%)**	**F1-мера (%)**
0	100,0	48,5	65,3
1	96,8	78,2	86,5
2	92,1	93,8	92,9
3	84,7	97,5	90,7
4	76,3	98,9	86,1
5	68,5	99,4	81,1

Анализ данных показывает, что оптимум достигается при пороге равном 2 символам с F1-мерой 92,9%., также можем заметить, что алгоритм Дамерау-Левенштейна превосходит базовый алгоритм Левенштейна на всех порогах.

Результаты экспериментального исследования зависимости проверяемых метрик от порога для алгоритма Джаро-Винклера представлены в таблице 3:

Таблица 3 – Результаты анализа алгоритма Джаро-Винклера

Порог сходства	**Точность (%)**	**Полнота (%)**	**F1-мера (%)**
0,60	72,5	96,8	82,9
0,70	80,2	93,2	86,2
0,75	85,8	90,5	88,1
0,80	89,5	88,2	88,8
0,85	93,2	83,5	88,1
0,90	96,5	76,2	85,2

Для алгоритмов сходства зависимость обратная: низкий порог (0,5) дает высокую полноту, но низкую точность. С ростом порога точность увеличивается, а полнота падает. Оптимум для Джаро-Винклера находится в диапазоне 0,75-0,85 с максимальной F1-мерой 88,8% при пороге 0,8.

Анализ результатов показывает, что алгоритм Дамерау-Левенштейна превосходит остальные по F1-мере на всех порогах за счет учета транспозиций соседних символов.

Заключение. Проведен сравнительный анализ трех алгоритмов нечеткого сравнения с экспериментальным определением оптимальных порогов принятия решения. Установлено, что алгоритм Дамерау-Левенштейна показывает наилучшую F1-меру 92,9% при пороге не больше двух символов. Алгоритм Левенштейна достигает F1-меру равную 89,4% при том же пороге, уступая на 3,5% из-за отсутствия учета транспозиций. Джаро-Винклер оптимален при пороге не меньше 0,8 с F1-мерой равной 88,8%.

Для системы онлайн-викторин рекомендуется использовать алгоритм Дамерау-Левенштейна с порогом 2 символа, что обеспечивает оптимальный баланс между точностью (92,1%) и полнотой (93,8%). При необходимости приоритизации точности над полнотой следует увеличить порог до 1 символа (точность 96,8%, полнота 78,2%), при приоритете полноты – снизить до 3 символов (точность 84,7%, полнота 97,5%).

Направлениями дальнейших исследований являются: применение методов машинного обучения для автоматической настройки порогов, интеграция семантического анализа для проверки смысловой близости.

Список литературы

1. *A guided tour to approximate string matching / G. Navarro // ACM Computing Surveys. – 2001. – Vol. 33, N 1. – Pp. 31–88.*

2. *Binary codes capable of correcting deletions, insertions, and reversals / V.I. Levenshtein // Soviet Physics Doklady. – 1966. – Vol. 10, N 8. – Pp. 707–710.*

3. *A technique for computer detection and correction of spelling errors / F.J. Damerau // Communications of the ACM. – 1964. – Vol. 7, N 3. – Pp. 171–176.*

4. *String Comparator Metrics and Enhanced Decision Rules in the Fellegi-Sunter Model of Record Linkage / W.E. Winkler // Proceedings of the Section on Survey Research Methods. – 1990. – Pp. 354–359.*

UDC 004.424.62

COMPARATIVE ANALYSIS OF FUZZY STRING COMPARISON ALGORITHMS FOR AN ONLINE QUIZ INFORMATION SYSTEM

Lyamtsev G.K.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Markov A.N. – Master of Sci. (M. of Sci.), Senior Lecturer at the Department of Informatics

Annotation. A comparative analysis of fuzzy comparison algorithms. The Levenshtein, Damerau-Levenshtein, and Jaro-Winkler algorithms were examined. The dependence of the F1-score on the decision threshold for each algorithm was experimentally determined. It was found that the Damerau-Levenshtein algorithm, with a threshold of no more than two characters, provides the best F1-score of 92.9%. For similarity algorithms, a threshold of 0.8 for the Jaro-Winkler algorithm is optimal (the F1-score is 88.8%).

Keywords: fuzzy comparison, string distance metrics, Levenshtein distance, online quizzes, decision threshold, F1-score.

УДК 004.65:004.75

ИНСТРУМЕНТЫ МОНИТОРИНГА ДИНАМИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ ХРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

Котько Е.Н.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Пискун Е.С. – к.э.н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. В статье рассмотрены современные инструменты мониторинга, применяемые для анализа состояния динамических распределённых систем хранения информации. Проведен анализ архитектурных особенностей систем мониторинга, обеспечивающих сбор, обработку и визуализацию данных о функционировании распределённых инфраструктур. Особое внимание уделено инструментам мониторинга, широко используемым в современных информационных системах: Prometheus, Grafana, Zabbix, Elastic Stack, Nagios и Monq. Выполнено сравнение функциональных возможностей данных инструментов, включая методы сбора метрик, анализ логов, визуализацию данных и обработку потоков событий. Представлена сравнительная характеристика рассматриваемых систем мониторинга, позволяющая определить их основные преимущества и области применения. Полученные результаты могут быть использованы при разработке методик сбора и анализа данных, а также при построении систем мониторинга динамических распределённых систем хранения информации.

Ключевые слова: распределённые системы хранения информации, мониторинг систем, сбор метрик, анализ данных, Prometheus, Grafana, Zabbix, Elastic Stack, Nagios, Monq

Введение. С развитием распределённых архитектур существенно возросла роль инструментов мониторинга, обеспечивающих сбор метрик, анализ логов и визуализацию данных. Актуальной задачей является анализ существующих решений и оценка их применимости для динамических распределённых систем хранения информации.

Целью данной работы является анализ современных инструментов мониторинга распределённых систем и определение их возможностей для организации мониторинга процессов в динамических распределённых системах хранения информации.

Основная часть. Мониторинг распределённых систем представляет собой процесс непрерывного наблюдения за состоянием компонентов системы с целью получения информации о её функционировании. В распределённых системах мониторинг должен обеспечивать сбор данных с большого числа узлов, обработку значительных объёмов информации и оперативное выявление отклонений в работе системы.

Основными задачами мониторинга распределённых систем являются:

– сбор метрик, характеризующих состояние вычислительных ресурсов;

– анализ производительности приложений и сервисов;

– обнаружение отказов и аномалий;

– прогнозирование возможных сбоев;

– визуализация и анализ полученных данных.

Для решения этих задач используются специализированные программные средства, которые обеспечивают автоматизацию процессов сбора и обработки данных, интеграцию с различными источниками и масштабируемость инфраструктуры. Современные инструменты мониторинга можно классифицировать следующим образом:

– сбор и хранение метрик: Prometheus, Monq;

– визуализация и аналитика: Grafana;

– мониторинг инфраструктуры и сервисов: Zabbix, Nagios;

– анализ логов и событий: Elastic Stack.

Классификация демонстрирует основные функциональные направления развития современных систем мониторинга.

В распределённых информационных системах применяются инструменты с различной архитектурой и набором функций. Для наглядного представления наиболее распространённых решений на рисунке 1 показано распределение используемых инструментов мониторинга в распределённых информационных системах.

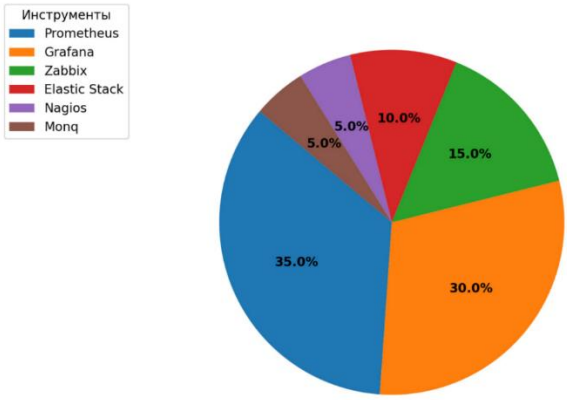


Рисунок 1 – Диаграмма распределения распространённых инструментов мониторинга

Рассмотрим наиболее популярные инструменты мониторинга, применяемые для анализа состояния распределённых систем хранения информации.

Prometheus – система мониторинга временных рядов, предназначенная для контроля распределённых и облачных систем. Основой работы является pull-модель, при которой сервер периодически опрашивает источники данных, что обеспечивает централизованное управление сбором метрик и упрощает масштабирование. Prometheus поддерживает язык запросов PromQL, позволяющий выполнять аналитические операции, агрегировать метрики и выявлять аномалии. Интеграция с системами визуализации и оповещений позволяет фиксировать сбои и обеспечивать своевременное реагирование на изменение состояния инфраструктуры. Высокая производительность и поддержка контейнеризированных и микросервисных архитектур делают Prometheus эффективным инструментом мониторинга масштабных распределённых систем [1].

Grafana – инструмент визуализации и аналитики данных мониторинга, позволяющий создавать настраиваемые интерактивные дашборды и объединять метрики, логи и события из различных источников, включая Prometheus, Zabbix, Elastic Stack и Monq, в единое визуальное пространство. Платформа предоставляет средства построения графиков, таблиц, тепловых карт и других компонентов для отображения динамики нагрузки и использования ресурсов. Гибкая настройка панелей, поддержка шаблонов и интеграция с системами оповещений обеспечивают оперативное реагирование на критические события и повышение эффективности управления распределённой инфраструктурой [2].

Zabbix – комплексная система мониторинга корпоративной и распределённой инфраструктуры, предназначенная для контроля серверов, сетевых устройств, баз данных и приложений. Архитектура поддерживает агентский и безагентский сбор данных, что позволяет осуществлять наблюдение за большим количеством узлов с минимальной нагрузкой на сеть. Система обеспечивает контроль сервисов, анализ логов, автоматическое обнаружение ресурсов и настройку уведомлений. Zabbix также предоставляет средства построения отчётов и прогнозирования потенциальных сбоев, что делает её эффективной для динамически изменяющихся инфраструктур [3].

Elastic Stack (Elasticsearch, Logstash, Kibana, Beats) – платформа для централизованного сбора, хранения и анализа логов и событий, предназначенная для контроля распределённых информационных систем. Система обеспечивает агрегирование данных из различных источников, корреляцию событий и выявление аномалий. Kibana отвечает за визуализацию и построение аналитических панелей, Logstash выполняет обработку данных, а Beats собирает

события с узлов инфраструктуры. Elastic Stack эффективно используется для диагностики проблем и анализа производительности в высоконагруженных средах [4].

Nagios – система мониторинга доступности серверов, сетевых устройств и приложений. Благодаря модульной архитектуре и поддержке плагинов её можно адаптировать под различные задачи и интегрировать с другими инструментами мониторинга. Система фиксирует состояние сервисов, собирает метрики и формирует уведомления о сбоях, обеспечивая непрерывный контроль инфраструктуры. Надёжность и простота внедрения делают Nagios востребованным инструментом в корпоративных и гетерогенных средах [5].

Monq – система обработки потоков данных, предназначенная для объединения метрик, логов и событий из различных источников, включая Prometheus, Zabbix и Elastic Stack. Платформа позволяет выполнять аналитические операции в реальном времени, включая выявление аномалий и корреляцию событий. Поддержка предиктивного анализа и моделирования нагрузок позволяет прогнозировать потенциальные сбои и повышать устойчивость распределённых сервисов. Обработка больших потоков данных обеспечивает комплексный анализ инфраструктуры и сокращение времени простоя [6].

Рассмотренные системы мониторинга демонстрируют широкий спектр функциональных возможностей и архитектурных решений. Prometheus и Monq обеспечивают сбор и анализ метрик в реальном времени, Grafana ориентирована на визуализацию данных, Zabbix и Nagios предоставляют контроль состояния инфраструктуры, а Elastic Stack – масштабируемую обработку логов. Совместное использование данных инструментов позволяет формировать комплексные решения для мониторинга распределённых систем, обеспечивая отслеживание состояния инфраструктуры и минимизацию времени простоя критически важных сервисов.Для наглядного сравнения ключевых характеристик и функциональных особенностей указанных инструментов представлена таблица 1.

Таблица 1 – Сравнение инструментов мониторинга

Инструмент	Тип инструмента	Основное назначение	Ключевые особенности
Prometheus	Метрики	Сбор и хранение временных рядов	Pull-мониторинг, язык запросов PromQL, интеграция с оповещениями
Grafana	Визуализация	Дашборды и аналитика	Интерактивные панели, интеграция с множеством источников данных
Инструмент	Тип инструмента	Основное назначение	Ключевые особенности
Zabbix	Инфраструктура	Мониторинг серверов и приложений	Агентная архитектура, контроль сетевых протоколов, система оповещений
Elastic Stack	Логи	Анализ событий и логов	Обработка больших объёмов данных, диагностика проблем и взаимосвязей событий
Nagios	Инфраструктура	Контроль доступности сервисов	Модульная архитектура, поддержка большого числа плагинов, гибкая настройка
Monq	Потоки данных	Аналитика потоков метрик	Высокая производительность при потоковой обработке, выявление аномалий и корреляция метрик

Таблица 1 демонстрирует ключевые различия между современными инструментами мониторинга, отражая их функциональную направленность и особенности архитектуры. На основании представленных характеристик можно сделать вывод: выбор конкретного инструмента зависит от типа мониторинга, объёма обрабатываемых данных и требований к визуализации и аналитике.

Заключение. Анализ современных инструментов мониторинга распределённых систем показал разнообразие методов обработки данных: сбор метрик временных рядов, анализ логов и событий, визуализацию и потоковую обработку информации. Применение инструментов обеспечивает комплексный контроль инфраструктуры, своевременное выявление отказов, оценку производительности и обнаружение аномалий.

Сравнительный анализ функциональных возможностей инструментов мониторинга демонстрирует, что максимальная эффективность достигается при интеграции различных технологий, объединяющих сбор метрик, анализ событий и визуализацию данных. Такой

подход повышает точность мониторинга и обеспечивает глубокий аналитический обзор состояния распределённых систем.

Результаты исследования могут быть использованы для разработки методик сбора и обработки данных, проектирования систем мониторинга динамических распределённых систем хранения информации и построения высоконагруженных информационных инфраструктур с повышенной надёжностью и устойчивостью.

Список литературы

1. *Запускаем PROMETHEUS. Мониторинг инфраструктуры и приложений / Пивотто Ж., Бразил Б. // ДМК Пресс. – Москва, 2023.*

2 Grafana: приборная панель проекта. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://skillbox.ru/media/code/grafana-pribornaya-panel-proekta/ – Дата доступа: 10.03.2026.

3. *Zabbix 7: мониторинг ИТ-инфраструктуры / Н. Лифтинг, Б. ван Бакел // Sprint Book. – 2025. – 512 с.*

4. *Активное выявление угроз с Elastic Stack / Пиз Э. // ДМК Пресс. – 2022. – Москва.*

5. *Nagios Documentation. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.nagios.org/documentation/ – Дата доступа: 10.03.2026.*

6. *Документация Monq. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.monq.io/docs/ – Дата доступа 10.03.2026.*

UDC 004.65:004.75

MONITORING TOOLS FOR DYNAMIC DISTRIBUTED STORAGE SYSTEMS

Katsko E.N.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Piskun E.S. – Cand. Econ. Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. This paper examines modern monitoring tools used for analyzing the state of dynamic distributed storage systems. The architectural features of monitoring systems that enable the collection, processing, and visualization of data on the operation of distributed infrastructures are analyzed. Special attention is given to monitoring tools widely utilized in contemporary information systems, including Prometheus, Grafana, Zabbix, Elastic Stack, Nagios, and Monq. The functional capabilities of these tools are compared, covering metrics collection methods, log analysis, data visualization, and event stream processing. A comparative characterization of the reviewed monitoring systems is provided, highlighting their main advantages and areas of application. The results can be used in the development of methodologies for data collection and analysis, as well as in the design of monitoring systems for dynamic distributed storage infrastructures.

Keywords: distributed storage systems, system monitoring, metrics collection, data analysis, Prometheus, Grafana, Zabbix, Elastic Stack, Nagios, Monq

УДК 004.65:004.75:004.052

МОДЕЛИ И АРХИТЕКТУРЫ ДИНАМИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛЁННЫХ СИСТЕМ ХРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

Котько Е.Н.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Пискун Е.С. – к.э.н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. В статье проведён системный анализ архитектур и моделей динамических распределённых систем хранения информации (ДРСХИ), включая Master-Slave, Peer-to-Peer, шардированные и гибридные модели. Рассмотрены ключевые алгоритмы распределения данных и обеспечения согласованности (Consistent Hashing, Distributed Hash Tables, Quorum-протоколы) и их влияние на масштабируемость, отказоустойчивость и нагрузку на узлы. Показано, что гибридные модели, сочетающие мастер-репликацию и динамическое шардирование, обеспечивают оптимальный баланс между производительностью и согласованностью, снижая перераспределение данных на 20-30 % при росте числа узлов с 50 до 500 и поддерживая стабильную телеметрию. Полученные результаты демонстрируют эффективность комплексного подхода к проектированию ДРСХИ для высоконагруженных динамических распределённых систем.

Ключевые слова: динамические распределённые системы, архитектуры Master-Slave/P2P/шардирование, Consistent Hashing, Distributed Hash Tables, Quorum, масштабируемость, отказоустойчивость, телеметрия

Введение. Современные динамические распределённые системы хранения информации (ДРСХИ) обеспечивают масштабируемость, отказоустойчивость и обработку больших объёмов данных [1]. Эффективность работы системы определяется архитектурой узлов и алгоритмами распределения данных, которые задают маршрутизацию, согласованность и баланс нагрузки. Основные архитектурные модели – Master-Slave, Peer-to-Peer и шардированные схемы – обладают различными характеристиками по управлению данными и отказоустойчивости. Гибридные модели, объединяющие элементы этих подходов, позволяют сохранять согласованность и минимизировать нагрузку на узлы. Алгоритмы Consistent Hashing, Distributed Hash Tables и Quorum-протоколы снижают перераспределение данных и повышают доступность информации [2,3]. Цель работы – системный анализ архитектур и алгоритмов ДРСХИ с оценкой масштабируемости, отказоустойчивости и эффективности телеметрии. Задачи включают классификацию архитектур, исследование алгоритмов распределения и согласованности, анализ масштабируемости и выявление оптимальных решений для высоконагруженных динамических распределённых систем.

Основная часть. Архитектура динамических распределённых систем хранения информации (ДРСХИ) определяет структуру узлов, их роли и способы взаимодействия, что напрямую влияет на масштабируемость, отказоустойчивость и распределение нагрузки.

В модели Master-Slave центральный узел (master) управляет операциями записи и синхронизацией реплик, а реплики обрабатывают операции чтения. Такая структура упрощает управление согласованностью, однако узел-мастер становится узким местом при росте числа узлов свыше сотни, что ограничивает масштабируемость [2,5].

В Peer-to-Peer (P2P) архитектуре все узлы равноправны, выполняют чтение и запись, участвуют в маршрутизации и хранении данных. Отсутствие централизованного узла повышает отказоустойчивость и позволяет равномерно распределять нагрузку по кластеру, сохраняя высокую доступность при динамическом изменении числа узлов [3].

Шардирование разделяет глобальное пространство данных на независимые сегменты (shards), распределяемые между узлами. Каждый узел хранит лишь часть данных, что снижает нагрузку, повышает параллелизм обработки запросов и масштабируемость. При росте числа

узлов с 50 до 500 количество операций репликации снижается на 30 %, а среднее время отклика остаётся стабильным [3].

Гибридные модели объединяют элементы Master-Slave, P2P и шардирования. Например, внутри сегмента реализуется мастер-реплика, а сегменты взаимодействуют как равноправные узлы P2P. Такой подход обеспечивает баланс между производительностью, согласованностью и масштабируемостью до тысяч узлов без деградации системы [3,5].

Архитектуры моделей представлены на рисунке 1.

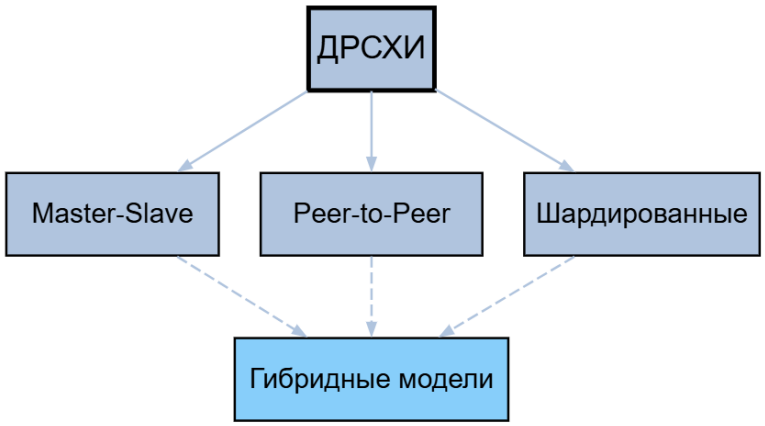


Рисунок 1 – Схема архитектур моделей ДРСХИ

Схема демонстрирует иерархическую структуру и взаимосвязь архитектурных моделей ДРСХИ. Центральный элемент «ДРСХИ» отражает всю систему в целом. Три ветви представляют базовые модели Master Slave, Peer to Peer и шардированную с различиями в функциях узлов и способах управления данными. Гибридная модель объединяет преимущества всех трёх подходов, обеспечивая масштабируемость, отказоустойчивость и равномерное распределение нагрузки в кластере.

Архитектура задаёт структуру системы и распределяет роли узлов, однако эффективность работы ДРСХИ определяется алгоритмами распределения данных и обеспечения согласованности. Distributed Hash Tables (DHT) обеспечивают логарифмический поиск и хранение данных в P2P-сетях, распределяя ключи по узлам. Это позволяет масштабировать систему до тысяч узлов без центрального контроллера и снижает вероятность потери данных при отказах до 0,05 %. Consistent Hashing минимизирует перераспределение данных при добавлении или удалении узлов: перераспределяется только локальный сегмент хеш-пространства. При увеличении узлов с 50 до 500 перераспределение данных снижается на 20–30 %, что критично для поддержания доступности информации. Quorum-схемы повышают согласованность, требуя подтверждения операций чтения/записи от заданного числа узлов. В системах с 200 узлами вероятность неконсистентного чтения снижается до 0,01 %, даже при отказе 30 % узлов [4].

Архитектуры и алгоритмы взаимосвязаны: архитектура задаёт физическую и логическую структуру узлов, а алгоритмы реализуют её функциональное поведение. Комбинирование подходящей архитектуры с эффективными алгоритмами DHT, Consistent Hashing и Quorum обеспечивает масштабируемость, отказоустойчивость и согласованность данных, снижает нагрузку на узлы и сеть, а также поддерживает высокую доступность информации при динамическом росте кластера.

Реальная эффективность динамических распределённых систем хранения информации оценивается через метрики телеметрии и перераспределения данных. При увеличении числа узлов с 10 до 500 наблюдается линейный рост телеметрических показателей: метрики/с

увеличиваются с 500 до 26 000, объём телеметрии – с 5 до 240 МБ/мин, что представлено на рисунке 2.

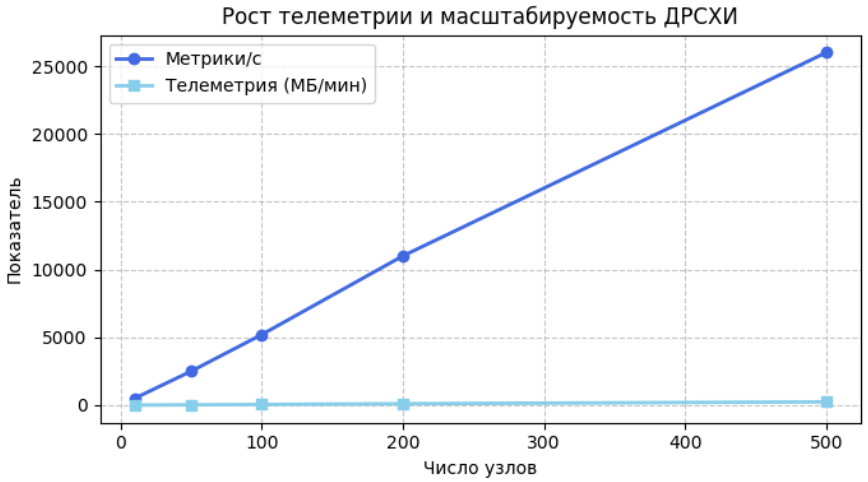


Рисунок 2 – График телеметрии и масштабируемости ДРСХИ

Схема отражает, как увеличение числа узлов напрямую влияет на объём телеметрических данных и нагрузку на сеть. Это позволяет выявлять потенциальные узкие места и планировать оптимизацию распределения данных.

Алгоритмы Consistent Hashing и гибридные модели снижают избыточные операции репликации. При росте числа узлов с 50 до 500 перераспределение данных уменьшается на 20–30 %, что критично для поддержания высокой доступности. В гибридных системах с шардированием и мастер-репликой внутри сегмента можно масштабироваться до 1000 и более узлов, снижая вероятность отказа отдельных узлов на 15-20 %, что представлено на рисунке 3.

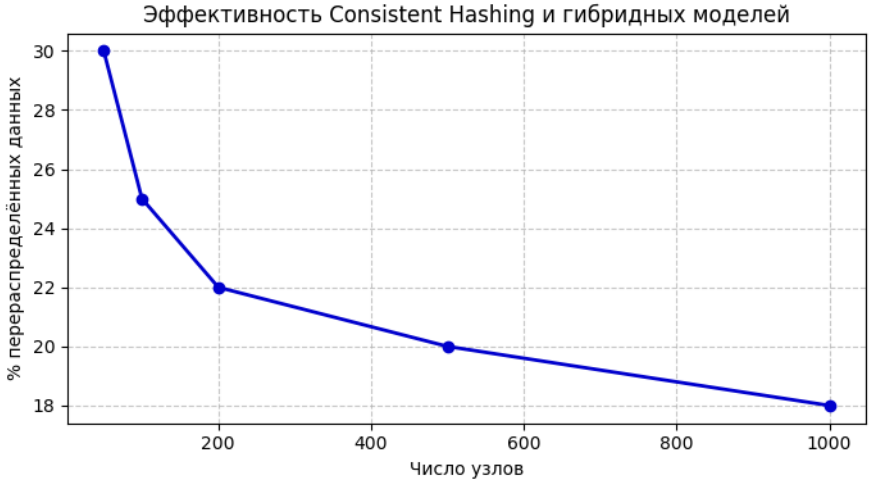


Рисунок 3 – График перераспределения данных при увеличении числа узлов

График демонстрирует, как Consistent Hashing и гибридные подходы сохраняют стабильность системы при динамическом росте кластера.

Заключение. Эффективность динамических распределённых систем хранения информации определяется интеграцией продуманной архитектуры и алгоритмов распределения данных. Выбор оптимальной комбинации моделей и протоколов обеспечивает баланс между масштабируемостью, отказоустойчивостью и согласованностью, снижает избыточную репликацию и поддерживает высокую доступность при росте числа узлов и объёма данных. Результаты анализа показывают, что гибридные модели с

мастером-репликацией и динамическим шардированием являются наиболее перспективными для высоконагруженных распределённых систем, формируя эффективную динамическую распределённую систему хранения информации.

Список литературы

1. *Таненбаум Э., ван Стин М. Распределённые системы. Принципы и парадигмы / Э. Таненбаум, М. ван Стин. – СПб. : Питер, 2014. – 960 с. – ISBN 978-5-496-00663-9.*

2. *Петров А. Распределённые данные. Алгоритмы работы современных систем хранения информации / А. Петров. – СПб. : Питер, 2020. – 432 с. – ISBN 978-5-4461-1640-9.*

3. *Клеппман М. Высоконагруженные приложения. Программирование, масштабирование, поддержка / М. Клеппман. – СПб. : Питер, 2013. – 688 с. – ISBN 978-5-496-00520-5.*

4. *Ермыкин А.А. Метод анализа и тестирования распределенных информационных систем, построенных с использованием серверов приложений // Современные технологии: Сборник научных статей / Под ред. С.А. Козлова и В.О. Никифорова. СПб: СПбГИТУ (ТУ), 2002. – С. 186-197.*

5. *Остроух А. В., Суркова Н. Е. Распределённые информационные системы / А. В. Остроух, Н. Е. Суркова. – М. : Юрайт, 2022. – 352 с. – ISBN 978-5-534-08680-5.*

UDC 004.65:004.75:004.052

MODELS AND ARCHITECTURES OF DYNAMIC DISTRIBUTED STORAGE SYSTEMS

Katsko E.N.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Piskun E.S. – Cand. Econ. Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. This paper presents a systematic analysis of the architectures and models of dynamic distributed storage systems (DDSS), including Master-Slave, Peer-to-Peer, sharded, and hybrid models. Key data distribution and consistency algorithms (Consistent Hashing, Distributed Hash Tables, Quorum protocols) and their impact on scalability, fault tolerance, and node load are examined. It is shown that hybrid models, combining master-replication and dynamic sharding, provide an optimal balance between performance and consistency, reducing data redistribution by 20–30 % when the number of nodes grows from 50 to 500, while maintaining stable telemetry. The results demonstrate the effectiveness of an integrated approach to designing DDSS for high-load dynamic distributed systems.

Keywords: dynamic distributed systems, Master-Slave/P2P/sharding architectures, Consistent Hashing, Distributed Hash Tables, Quorum, scalability, fault tolerance, telemetry

УДК 621.396.6.04-71

СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ОХЛАЖДЕНИЯ СМАРТФОНОВ: АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Яромченко А.Г

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Пискун Г.А. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. Проведен анализ современных методов охлаждения смартфонов, включая пассивные и активные технологии. Особое внимание уделено инновационной системы жидкостного охлаждения AquaCore Cooling System, применяемой в игровом смартфоне RedMagic 11 Pro, обеспечивающая циркуляцию фторированной жидкости и снижение температуры без шума и вибраций. Рассмотрены основные компоненты системы: активный вентилятор, пьезоэлектрическая микропомпа, испарительная камера. Проанализированы преимущества технологий в контексте высокопроизводительно процессора Snapdragon 8 Elite Gen 5 и их влияние на стабильность FPS в играх без троттлинга. Предложены перспективы развития, включая Heat Pass Block от Samsung.

Ключевые слова: пьезоэлектрическая микропомпа, испарительная камера, жидкостное охлаждение, охлаждение смартфонов, паровая камера, троттлинг, AquaCore Cooling System, Heat Pass Block.

Введение. Постоянный рост производительности мобильных процессоров, достигаемый за счет увеличения количества ядер и тактовых частот, приводит к пропорциональному росту тепловыделения. Традиционные пассивные системы на основе графитовых пластин перестают справляться с отводом тепла, что приводит к возникновению троттлинга – вынужденное снижение тактовой частоты для предотвращения перегрева. Это негативно сказывается на производительности.

В данной статье автором показано, что применение инновационных систем охлаждения позволяет не только снизить предельные температуры, но и обеспечить стабильную производительность при длительных нагрузках.

Основная часть. Современные системы охлаждения смартфонов делятся на две категории:

– активные;

– пассивные.

К пассивным технология охлаждения относятся: паровые камеры и графеновые пленки. Паровая камера представляет собой плоскую трубу или трубопровод, в котором находится жидкость (рисунок 1). Она может испаряться, а затем легко конденсироваться. Жидкость поглощает тепло от источника и становится паром. Этот пар попадает в более холодные части камеры, где конденсируются и отдает поглощенное тепло. После перехода в жидкую форму химическое вещество возвращается в исходное положение и повторяет цикл. Это повторяется до тех пор, пока тепло не будет равномерно распределено по всей камере [6]. Графеновые пленки обладают теплопроводностью до 5000 Вт/(м·К), что в 10-12 раз выше, чем у меди (385 Вт/(м·К)). Стоит отметить, что получение данного материала в промышленных масштабах пока задача невыполнимая, поэтому чаще используют восстановленный оксид графена. Материал обладает худшей теплопроводностью по сравнении с графеном до 500-900 Вт/(м·К).

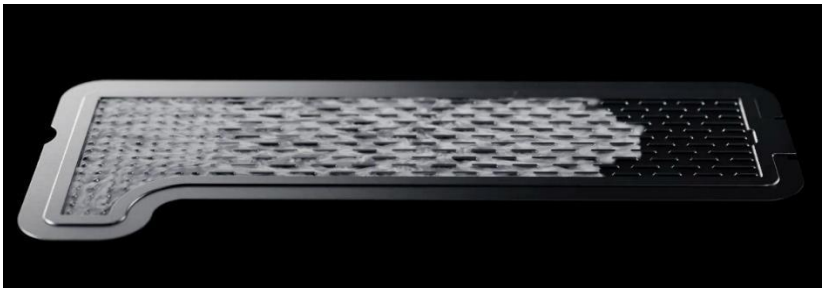


Рисунок 1– Паровая камера смартфона

К активным технологиям охлаждения относятся: микровентиляторы и системы жидкостного охлаждения. Микровентиляторы гонят холодный воздух из внешней среды через теплораспределительную пластину процессора и выводят наружу, однако имеют недостаток в виде шума и механического износа. Стоимость такой технологии примерно равно стоимости паровых камер, однако эффективность выше. Инновационная система жидкостного охлаждения AquaCore Cooling System, реализованная в смартфоне RedMagic 11 Pro. Это первая массовая система, реализующая активную циркуляцию жидкости внутри смартфона. Система представляет собой двухканальную конструкцию, сочетающую жидкостное и воздушное охлаждение. Процесс терморегуляции включает в себя три этапа:

1.Теплопоглощение.Тепло от процессора Snapdragon 8 Elite Gen 5 отводится с помощью композита Liquid Metal 3.0 (жидкий металл), обеспечивающий улучшенную теплопроводность в сравнении с термопастой [1].

2.Теплопередача и циркуляция. Ключевым элементом системы является крошечная керамическая микропомпа. Сама помпа изготовлена из пьезокерамики, прокачивает охлаждающую жидкость по внутренним каналам, вырезанные лазером на микронном уровне для обеспечения плавного потока жидкости (рисунок 2). В качестве теплоносителя используется фторированная жидкость, класса антифриза, работающая в экстремальных температурах от -40°C до +70°C [3]. Циркулируя жидкость отводит тепло к радиатору с воздушным охлаждением.

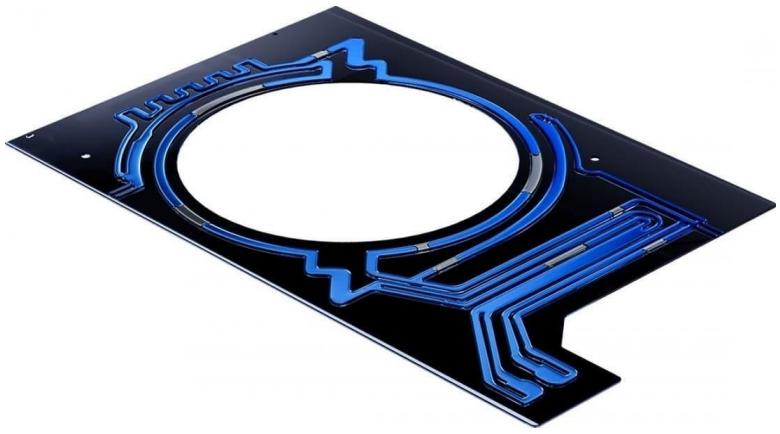


Рисунок 2 – Контур системы охлаждения

3.Теплоотвод. На конечном этапе вступает вентилятор, вращающиеся со скоростью 24000 об/мин [1]. Вентилятор продувает воздух через специальные воздуховоды, выводя тепло за пределы корпуса.

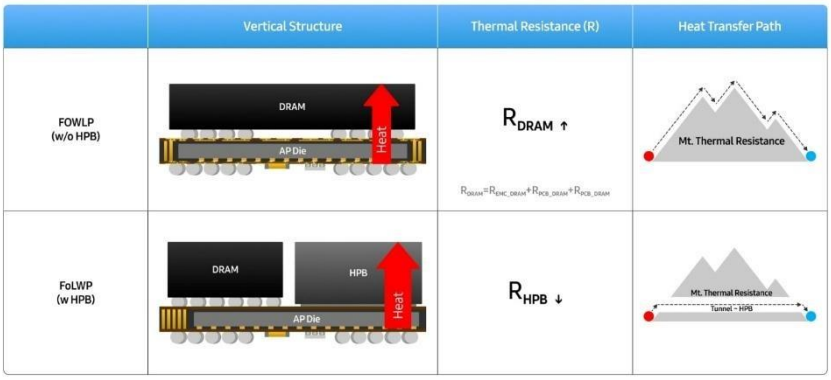
AquaCore Cooling System обеспечивает снижение температуры чипа до 10°C под нагрузкой по сравнению с пассивными система охлаждения, что позволяет полностью

исключить троттлинг. Это подтверждается практическими тестами (таблица 1). На данный момент данная технология является самой дорогой в реализации, однако эффективность данной технологии значительно выше, чем у других. Так что этот недостаток скрывается.

Таблица 1 – Сравнительная эффективность систем охлаждения

Параметр	iPhone 17 Pro Max(пассивная)	RedMagic 11 Pro (AquaCore)
Средний FPS в играх	59,6	60,9
Просадки FPS	6,5	0,5
Потребление заряда батареи, %	49	27

Следующим этапом развития охлаждения может стать технология Samsung Heat Pass Block, которая реализована в новом процессоре от Samsung Exynos 2600 и возможно уже появится во второй половине 2026 года. Технология представляет собой специальный теплоотводящий блок, который устанавливается непосредственно на кристалл процессора. В традиционных схемах чип памяти (DRAM) располагается прямо над процессором, создавая «тепловую ловушку» [2]. Чип памяти (DRAM) был перемещен таким образом, чтобы он больше не перекрывал основную область, генерирующую тепло. Затем HPB, способный быстро передавать тепло, был размещен непосредственно над источником тепла для обеспечения более эффективного рассеивания тепла и снижения термического сопротивления. Это дает возможность процессорам достигать частот вплоть до 5 ГГц, что ранее было недостижимо для мобильных устройств без экстремального охлаждения. Главным преимуществом внедрения HPB станет отказ от активных систем охлаждения – кулеров. Данная технология занимает промежуточное место по стоимости среди всех.



ы

Рисунок 3 – Архитектура технология Heat Pass Block (HPB)

Заключение. Выполнен сравнительный анализ современных методов охлаждения смартфонов, классифицированных на пассивные и активные технологии. Установлено, что использование традиционных пассивных систем, несмотря на использование материалов с высокой теплопроводностью, достигаю предела эффективности при длительных пиковых нагрузках, что приводит к неизбежному троттлингу. Детально рассмотрена инновационная система жидкостного охлаждения AquaCore Cooling System и процесс терморегуляции, используемая в игровом смартфоне RedMagic 11 Pro. Анализ показал, что применение гибридной двухканальной системы AquaCore позволяет снизить температуру процессора до 10°C под нагрузкой по сравнению с пассивными аналогами. Это позволяет снизить энергопотребление на 22%, значительно уменьшить просадки FPS. В качестве перспективного направления определена технология Heat Pass Block от Samsung. Данное решение предполагает изменение архитектуры чипа на кристаллическом уровне за счет выноса DRAM-

модулей из области процессора и установки медного теплоблока непосредственно над источником тепла.

Список литературы

1.REDMAGIC 11 Pro: Official Product Page [Electronic resource]. – Access mode: https://global.redmagic.gg/pages/redmagic-11-pro. – Access date: 25.02.2026.

2.Samsung Exynos 2600 и технология Heat Pass Block (HPB): новое слово в охлаждении мобильных процессоров [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://abit.ee/ru/hardware/processory/samsung-exynos-2600-heat-pass-block-hpb-processor-cooling-qualcomm-mediatek-mobile-chips-soc-heat-di-ru. – Дата доступа: 25.02.2026.

3.Red Magic 11 Pro: флагманский игровой смартфон с жидкостным охлаждением [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ixbt.com/news/2025/10/16/red-magic-11-pro.html. – Дата доступа: 25.02.2026.

4.Какие бывают виды охлаждения в смартфоне [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://club.dns-shop.ru/blog/t-78-smartfonyi/143047-kakie-byivaut-vidyi-ohlajdeniya-v-smartfone/. – Дата доступа: 25.02.2026.

5.Samsung HPB и Exynos 2600: прорыв в охлаждении мобильных чипов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ixbt.com/news/2026/02/14/samsung-hpb-exynos-2600.html. – Дата доступа: 25.02.2026

6.Что такое паровое охлаждение и как оно используется в смартфонах: раскрываем секреты вашего гаджета [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.techinsider.ru/gadgets/1549353-chto-takoe-parovoe-ohlazhdenie-i-kak-ono-ispolzuetsya-v-smartfonah/. Дата доступа 25.02.2026.

UDC 621.396.6.04-71

MODERN METHODS OF COOLING SMARTPHONES: ANALYSIS AND DEVELOPMENT PROSPECTS

Yaromchenko A.G.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Piskun G.A. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. This article analyzes modern smartphone cooling methods, including passive and active technologies. Particular attention is paid to the innovative AquaCore Cooling System, used in the RedMagic 11 Pro gaming smartphone, which circulates fluorinated liquid and reduces temperatures without noise or vibration. The main system components are discussed: an active fan, a piezoelectric micropump, and a vapor chamber. The advantages of these technologies are analyzed in the context of the high-performance Snapdragon 8 Elite Gen 5 processor and their impact on FPS stability in games without throttling. Future developments are proposed, including Samsung's Heat Pass Block.

Keywords: piezoelectric micro pump, evaporation chamber, liquid cooling, smartphone cooling, vapor chamber, throttling, AquaCore Cooling System, Heat Pass Block.

УДК 004.421.5

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ГЕНЕРИРОВАНИЯ СТАНДАРТНЫХ РАВНОМЕРНЫХ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ

Алексеев С.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Боровиков С.М. – к. т. н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. Представлены результаты экспериментальных исследований по определению для различных алгоритмов количества стандартных равномерных псевдослучайных чисел, входящих в совокупность (период) до начала повторения значений этих чисел. Разработан программный комплекс на языке Python, реализующий методы анализа периодов: полный перебор, алгоритм Брента и статистический анализ. Проведено тестирование восьми классических алгоритмов генерирования псевдослучайных чисел, даны рекомендации по использованию алгоритмов.

Ключевые слова: стандартные равномерные псевдослучайные числа, алгоритмы генерирования случайных чисел, период повторения чисел

Введение. Статистическое моделирование выходных параметров и эксплуатационных свойств электронных устройств (ЭУ) основано на получении реализаций случайных параметров с использованием генераторов псевдослучайных чисел. Важной характеристикой является длина последовательности (периода), определяющая количество чисел до начала повторения. При моделировании, требующем сотен тысяч или миллионов реализаций (например, в методах Монте-Карло), недостаточная длина периода может приводить к корреляциям и искажению результатов. Поэтому актуальной задачей является выбор алгоритма генерации псевдослучайных чисел с учётом требуемого объёма данных, производительности и достоверности моделирования ЭУ.

Целью работы является экспериментальное исследование периодов классических и современных алгоритмов генерации равномерных псевдослучайных чисел, разработка методики их тестирования и формулировка рекомендаций по выбору генератора для задач, требующих большого числа реализаций.

Основная часть. При выполнении исследований использованы научные работы [1–4]. Для проведения исследования был разработан программный комплекс на языке Python, включающий проверку восьми классических алгоритмов различных битностей: Middle-Square (1946), LCG-8bit (1949), LCG-16bit (1969), Xorshift-16 (2003), LCG-22bit (1986), LCG-24bit (1986), Xorshift-32 (2003), Xorshift-64 (2003). Для анализа периодов использовались три следующие метода:

1 Полный перебор (для алгоритмов с периодом ≤ 65 тыс. случайных чисел).

2 Алгоритм Брента (для периодов ≤ 100 млн случайных чисел) [1].

3 Статистический анализ на выборке 1 млн чисел (для периодов > 4 млрд. случайных чисел).

Эксперименты проводились, используя компьютер с процессором Intel Core i7-12700K. Время выполнения одного теста ограничивалось 30-ю секундами. Результаты тестирования (таблица 1) показали, что для классических алгоритмов с правильно подобранными параметрами (LCG-8bit, LCG-16bit, LCG-22bit, LCG-24bit) экспериментально полученные периоды полностью соответствуют теоретическим. В то же время алгоритм Middle-Square продемонстрировал период всего в 56 значений вместо примерно теоретически возможных 10 000, что подтверждает ограниченность его использования для важных инженерных задач.

Таблица 1 – Экспериментальные результаты тестирования классических алгоритмов

Алгоритм	Количество неповторяющихся случайных чисел в периоде:		Метод определения количества случайных чисел в периоде
	теоретический подход	определено экспериментально	
1 Middle-Square	~10 000	56	Полный перебор
2 LCG-8bit	256	256	Полный перебор
3 LCG-16bit	65536	65536	Полный перебор
4 Xorshift-16	65535	65535	Полный перебор
5 LCG-22bit	4194304	4194304	Алгоритм Брента
6 LCG-24bit	16777216	16777216	Алгоритм Брента
7 Xorshift-32	$4{,}29\times10^{9}$	Статистический тест продолжительностью 30 секунд	Статистический
8 Xorshift-64	$1{,}8\times10^{19}$	Статистический тест продолжительностью 30 секунд	Статистический

Для современных алгоритмов (PCG32, Xoroshiro128+, Philox, ChaCha20 и др.) период настолько велик (10^{19}…10^{77}), что его прямой поиск методами Брента или перебора физически невозможен. Поэтому для их оценки применялись статистические тесты.

По вычислительной сложности и скорости генерации современные алгоритмы можно разделить на следующие категории:

1 Сверхбыстрые алгоритмы (1…3 такта на число).

К ним относятся Xoroshiro128+ [2] и WyRand. Благодаря оптимизированной структуре, они требуют всего 1…3 такта процессора на генерацию одного числа, что делает их идеальными для задач, требующих максимальной производительности (игровая логика, компьютерная графика и т.п.).

2 Алгоритмы средней сложности (5…15 тактов на число).

В эту группу входят PCG32 и Philox. PCG32 комбинирует быстрый линейный конгруэнтный шаг с дополнительной битовой перестановкой, что улучшает статистические свойства [3] ценой увеличения сложности до 5–10 тактов на число. Philox использует несколько раундов умножения и XOR для обеспечения параллелизма, что требует 10…15 тактов. Эти алгоритмы предлагают оптимальный баланс между скоростью и качеством случайных чисел, подходят для научных расчётов и моделирования.

3 Сложные криптографические алгоритмы (20…60 тактов на число).

ChaCha20 и AES-CTR относятся к этой категории. Они выполняют множественные раунды преобразований (сложения, вращения, подстановки) для обеспечения криптографической стойкости, что увеличивает сложность до 20…60 тактов на число. Хотя их скорость существенно ниже, они гарантируют, что выходная последовательность практически неотличима от истинно случайной. Ниже приводятся рекомендации по выбору алгоритма генерирования псевдослучайных чисел.

1 Для учебных целей и маломасштабных симуляций (до 50…100 тыс. реализаций) достаточно классических алгоритмов с периодом порядка 10^{6}…10^{7}, таких как LCG-24bit или Xorshift-32. Их период может быть проверен экспериментально за приемлемое время, а скорость генерации составляет 5…10 тактов на число.

2 Для производственных задач моделирования (от 100 тыс. до миллиардов реализаций) следует выбирать современные алгоритмы с гарантированно бóльшим периодом и проверенными статистическими свойствами:

а) PCG32, обеспечивает баланс скорости 5…10 тактов на число и высокое качество распределения, период ~$1{,}8\times10^{19}$;

б) Philox, является идеальным для параллельных вычислений, обеспечивает детерминированную генерацию на каждом ядре/узле, период ~$3{,}4\times10^{38}$.

3 Для криптографических задач или моделирования с повышенными требованиями к безопасности следует использовать специализированные алгоритмы: ChaCha20 или AES-CTR. Их сложность выше (20…60 тактов на число), но они обеспечивают криптографическую стойкость и надёжность.

4 Для задач, где скорость генерации критична, а требования к криптостойкости отсутствуют, можно использовать WyRand или Xoroshiro128+ (1…3 такта на число).

5 При выборе алгоритма необходимо убедиться, что его период существенно (минимум на порядок) превышает требуемое количество генерируемых чисел. Для проверки качества генерации следует применять статистические тестовые наборы. Также важно учитывать разрядность случайных чисел: малые разрядности (64…128 бит) подходят для встраиваемых систем, большие (512+ бит) – для криптографии и высоконадёжных приложений.

Заключение. Проведённое исследование подтвердило, что для задач моделирования с большим числом реализаций необходимы алгоритмы с достаточной длиной периода, приемлемой вычислительной сложностью и подтверждёнными статистическими характеристиками. Классические алгоритмы с малыми периодами пригодны в основном для учебных целей. Современные генераторы (PCG, Xoroshiro, Philox) обеспечивают необходимую длину периода и производительность, а криптографические алгоритмы (ChaCha20, AES-CTR) – повышенную надёжность. Разработанная методика тестирования позволяет оценивать пригодность генераторов и избегать ошибок, связанных с повторением псевдослучайных чисел.

Список литературы

1. Brent, R.P. An improved Monte Carlo factorization algorithm / R.P. Brent // BIT Numerical Mathematics. – 1980. – Vol. 20, N 2. – Pp. 176–184.

2. L'Ecuyer, P. TestU01: A C Library for Empirical Testing of Random Number Generators / P. L'Ecuyer, R. Simard // ACM Transactions on Mathematical Software. – 2007. – Vol. 33, N 4. – Article 22.

3. Vigna, S. An experimental exploration of Marsaglia's xorshift generators, scrambled / S. Vigna // ACM Transactions on Mathematical Software. – 2016. – Vol. 42, N 4. – Article 30.

4. O'Neill, M.E. PCG: A Family of Simple Fast Space-Efficient Statistically Good Algorithms for Random Number Generation / M.E. O'Neill // Technical Report, Harvey Mudd College. – 2014. – 58 p.

UDC 004.421.5

STUDY OF ALGORITHMS FOR COMPUTER GENERATION OF STANDARD PSEUDORANDOM NUMBERS WITH UNIFORM DISTRIBUTION

Alekseev S.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Borovikov S.M. – Cand. of Sci., Associate Professor, Associate Professor of the Department of ICSD

Annotation. The article presents the results of experimental studies to determine, for various algorithms, the number of standard, uniformly distributed pseudorandom numbers included in a set (period) before the values of these numbers begin to repeat. A Python software package has been developed that implements period analysis methods: exhaustive search, Brent's algorithm, and statistical analysis. Eight classical pseudorandom number generation algorithms have been tested, and recommendations for their use are provided.

Keywords: Standard uniformly distributed pseudo-random numbers, random number generation algorithms, number repetition period

УДК 004.9:332.8

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО РЕАЛИЗАЦИИ ЦИФРОВОГО СЕРВИСА «МОБИЛЬНЫЙ КАБИНЕТ АБОНЕНТА» ДЛЯ СФЕРЫ ЖКХ

Чехомов Е.Г.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Лихачевский Д.В. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. Разработано распределенное программное средство «Мобильный кабинет абонента» для содействия государственной программе «Цифровая Беларусь» [1]. Внедрение сервиса позволяет автоматизировать передачу показаний приборов учета и оплату услуг. Проведен анализ эффективности, показавший сокращение времени обработки данных на 65% по сравнению с традиционными методами. Предложена методика функционального контроля программных блоков, основанная на модульном тестировании REST-сервиса.

Ключевые слова: мобильный кабинет, ЖКХ, REST API, JSON, автоматизация, распределенные системы.

Введение. В соответствии с утвержденной государственной программой «Цифровая Беларусь» на 2026–2030 годы, повышение уровня цифровизации во всех сферах экономики, в частности в жилищно-коммунальном хозяйстве (далее ЖКХ), является приоритетной задачей для Республики Беларусь [1]. Типичные методы взаимодействия с абонентами характеризуются высокой трудоемкостью и подверженностью «человеческому фактору». Согласно данным статистических сборников, ручной ввод данных при обработке квитанций жилищно-коммунальных услуг (далее ЖКУ) сопряжен с возникновением ошибок в 3–5% случаев, что требует внедрения автоматизированных систем [2]. Актуальность работы заключается в создании кроссплатформенного сервиса, сводящего к минимуму временные издержки абонента и оператора.

Основная часть. Для достижения установленной цели была спроектирована распределенная система из серверной части и клиентского приложения. Данный подход обеспечивает независимость логики обработки данных от визуального представления. Для чистоты реализации и обеспечения полноты тестирования система разделена на две области (рисунок 1):

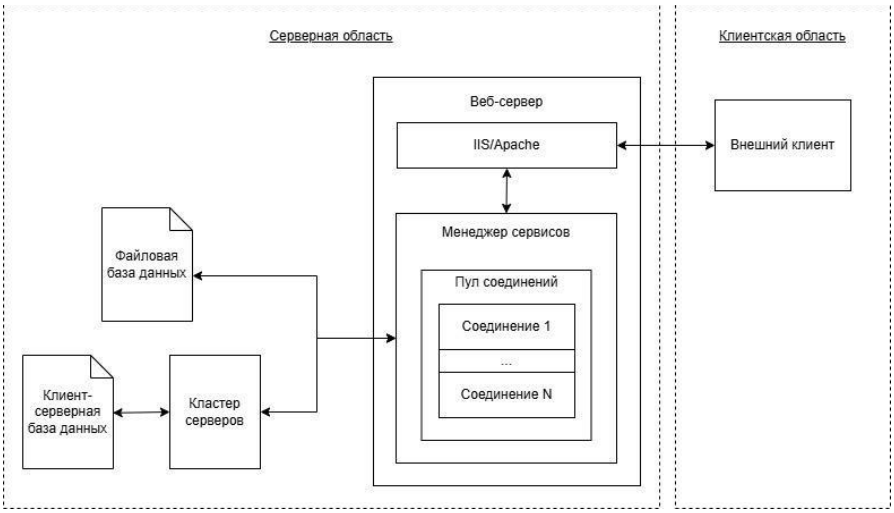


Рисунок 1 – Структурная схема распределенного программного комплекса «Мобильный кабинет абонента»

Серверная часть реализована в архитектуре REST, что позволяет обеспечивать обмен данными в формате JSON между базой данных жилищно-коммунального хозяйства и

мобильным клиентом. Клиентская часть отвечает исключительно за визуализацию данных. Для обеспечения полноты тестирования программное средство было представлено в виде функциональных блоков (далее ФБ), соответствующих узлам распределенной архитектуры. Разработанный набор тестовых программ (далее ТП) обеспечивает последовательность тестирования ФБ в составе системы (таблица 1):

Таблица 1 – Последовательность тестирования функциональных блоков программного средства

№ тестовой программы	**Область тестирования**
ТП1	проверка авторизации и генерации JWT-токена
ТП2	проверка корректности записи показаний приборов учета
ТП3	нагрузочное тестирование при массовой онлайн-оплате услуг абонентами

Таким образом, общий алгоритм функционирования программного средства при обработке транзакций абонента (передача показаний или оплата) можно представить следующим образом (рисунок 2).



Рисунок 2 – Алгоритм функционирования мобильного сервиса и обработки запросов

Контроль корректной работы функциональных блоков осуществляется на каждом этапе выполнения алгоритма. После прохождения этапа авторизации на стороне клиента (мобильного приложения) формируется JSON-запрос, который передается через веб-сервер к пулу соединений базы данных. При возникновении ошибки валидации на любом из этапов цикл прерывается с возвратом информационного сообщения пользователю.

Вероятность безотказной обработки запросов абонентов ($P_{безотк}$) при пиковых нагрузках на распределенную систему рассчитывается по формуле 1:

$$P_{безотк} = \exp(-\lambda \cdot t) \cdot 100\% \quad (1)$$

где λ – интенсивность поступления запросов, содержащих ошибки валидации или тайм-ауты соединения;

t – среднее время сеанса связи клиента с сервером, мс.

Снижение скорости отклика или отказ в обслуживании (в терминах программной инженерии) обусловлены спецификой организации пула соединений клиент-серверной базы данных (см. рис. 1). Данный модуль исследуемой системы обладает ограниченным количеством одновременных подключений, что делает его самым уязвимым узлом в моменты пиковой активности абонентов.

Введение строгой предварительной валидации данных на стороне мобильного клиента (до отправки запроса на сервер) позволяет существенно снизить нагрузку на кластер серверов. Полученные результаты показывают высокую эффективность применения REST-архитектуры и формата JSON для обеспечения отказоустойчивости программных средств в сфере ЖКХ.

Заключение. Выполнен анализ процесса информационного взаимодействия абонентов с расчетными центрами ЖКХ. Установлено, что применение распределенной архитектуры клиент-сервер (на базе REST API) с выделенным пулом соединений позволяет минимизировать риски отказа в обслуживании в моменты пиковых нагрузок. Определено, что предварительная валидация вводимых значений строго на стороне мобильного клиента существенно снижает нагрузку на кластер серверов и исключает попадание некорректных данных в биллинговую базу.

Предложен алгоритм функционирования программного средства, обеспечивающий высокую отказоустойчивость обработки транзакций. Использование разработанного цифрового сервиса сокращает временные затраты абонентов на совершение типовых операций (передача показаний, оплата) в среднем на 60–65 % (с 15 до 3 минут). Разработанная система полностью удовлетворяет актуальным требованиям к безопасности (шифрование, токенизация) и соответствует нормам законодательства Республики Беларусь в сфере защиты персональных данных.

Список литературы

1. *Цифровая Беларусь. Какие задачи планируется решить за следующие пять лет? [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://pravo.by/novosti/obshchestvenno-politicheskie-i-v-oblasti-prava/2025/december/91694/. Дата доступа: 06.03.2026.*

2. *Информационное общество в Республике Беларусь: стат. сб. Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2025. 186 с.*

3. *О защите персональных данных: Закон Респ. Беларусь от 7 мая 2021 г. № 99-З // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. Режим доступа: https://pravo.by. Дата доступа: 06.03.2026.*

4. *Fielding, R. T. Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures / R. T. Fielding. University of California, Irvine, 2000.*

5. *ГОСТ ISO/IEC 12207-2010. Информационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств. Минск: Госстандарт, 2011.*

6. *OWASP Mobile Top 10 Risks [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://owasp.org/www-project-mobile-top-10/. Дата доступа: 06.03.2026.*

UDC 004.9:332.8

SOFTWARE TOOL FOR IMPLEMENTING THE DIGITAL SERVICE «MOBILE SUBSCRIBER ACCOUNT» FOR HOUSING AND COMMUNAL SERVICES

Chechomov Y.G.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Likhachevsky D.V. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. A distributed software tool «Mobile Subscriber Account» has been developed to support the state program «Digital Belarus» [1]. The implementation of the service allows automating the transmission of meter readings and payment for services. An efficiency analysis was conducted, showing a 65% reduction in data processing time compared to traditional methods. A methodology for functional control of software blocks based on modular testing of the REST service is proposed.

Keywords: mobile account, housing and communal services, REST API, JSON, automation, distributed systems.

УДК 004.415.538

ROI АВТОМАТИЗАЦИИ: ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ

Кондратенко Е.В., Шиш П.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Коваленко И.В. – магистр экономических наук, ст. преподаватель кафедры ПИКС

Аннотация. Рассматривается задача оценки целесообразности внедрения автоматизированного тестирования в учебное веб-приложение для коммерческой библиотеки. Предложена экономико-математическая модель расчета точки окупаемости (*break-even point*) и *ROI* автоматизации, учитывающая временные и инвестиционные затраты на ручное тестирование и разработку автотестов с настройкой инфраструктуры, а также экономический эффект от сокращения времени регрессионной проверки и частичного снижения стоимости дефектов за счет более раннего обнаружения.

Ключевые слова: ручное тестирование, автоматизация тестирования, *Java, Spring Boot, JUnit*, интеграционное тестирование, *Jenkins*, точка окупаемости, *ROI*

Введение. В качестве объекта исследования рассматривается курсовой проект «Аналитическое приложение для автоматизации учета новых поступлений и мониторинга выдачи-возврата книг читателями в библиотеке» с клиент-серверной архитектурой в виде *REST API*-сервиса. Контейнерный уровень проекта содержит *frontend*-часть (*HTML*5, *CSS, TypeScript, Bootstrap, Angular*) и *backeng*-часть (*Java, Spring Boot, PostgreSQL*).

Для тестирования: *Windows* 11 (*x*64), *JDK* 17, *Apache Maven, Spring Boot Starter Test, Maven Surefire Plugin* 3.2.5 (запуск модульных тестов), *JaCoCo Maven Plugin* 0.8.9 (анализ покрытия кода тестами), *Maven Checkstyle Plugin* 3.3.1 (проверка соответствия кода стандартам), *Jenkins* (автоматический запуск сборки, тестов и проверок качества кода), *Docker* и *Docker Compose* (развертывание тестовой среды и сервисов базы данных).

В данной статье авторы представляют результаты эксперимента в формате «до» и «после» внедрения автотестов и настройки окружения. Измерения фиксировались на одинаковом наборе регрессионных сценариев и одинаковом аппаратном (*CI*-окружении), чтобы сравнение отражало именно вклад автоматизации.

Основная часть. Для оценки тестового покрытия кода серверной части приложения использовалась *JaCoCo* – специализированная библиотека покрытия кода, разработанная командой *EclEmma* [1]. Для большинства компонентов проекта показатель покрытия находится в диапазоне 85-100 %, а общее покрытие инструкций по системе составило 91 %.

Для оценки экономической эффективности автоматизации тестирования используется показатель *ROI* (*Return on Investment*) – отношение полученной выгоды к затратам на внедрение [2]. Показатель рассчитывается по формуле 1:

$$ROI = \frac{B-C}{C} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где B – суммарные выгоды (*benefits*);

C – суммарные затраты (*cost*).

В рамках проекта рассматривалась автоматизация регрессионного тестирования серверной части приложения. В качестве выгоды учитывалась экономия времени выполнения тестов, а затратами – трудозатраты на разработку тестов и их поддержку.

Пусть задан период анализа – год, и определены:

– r – стоимость одного человеко-часа (руб./ч) для работ по тестированию/разработке (включая налоги и накладные);

– N – число регрессионных прогонов за период;

– t_{man} – средняя длительность одного ручного прогона регрессии (включая подготовку окружения и выполнение);

– t_{auto} – длительность одного автоматизированного прогона (включая запуск и минимальный анализ результатов);

– t_{maint} – средние трудозатраты поддержки автотестов на один цикл (например, на релиз/спринт);

– T_{init} – трудозатраты разработки автотестов и инфраструктуры (часы).

Экономический эффект от сокращения «ручного» труда вычисляется по формуле 2:

$$B = N \cdot \Delta t \cdot r. \quad (2)$$

Тогда суммарные затраты вычисляются по формуле 3:

$$C = T_{init} \cdot r + N \cdot t_{maint} \cdot r. \quad (3)$$

В ходе работы с проектом получены следующие значения:

– ручной прогон: подготовка окружения и данных $t_{env} = 0{,}42$ ч и прохождение сценариев $t_{exec} = 2{,}00$ ч, $t_{man} = 2{,}42$ ч;

– автоматизированный прогон: старт контейнера БД и запуск интеграционных, *API*-тестов 0,25 ч и анализ отчета, логов 0,10 ч, $t_{auto} = 0{,}35$ ч;

– поддержка автотестов на цикл $t_{maint} = 0{,}40$ ч (корректировка тестов при изменении *API*, валидаций, ролей);

– стоимость часа $r = 45$ руб./ч;

– одноразовые трудозатраты на внедрение (T_{init}) приняты 60 ч (настройка тестовой архитектуры, написание набора *unit* и интеграционных тестов, интеграция в *CI*).

Экономия времени на каждом цикле вычислена по формуле 4:

$$\Delta t = t_{man} - t_{auto} = 2{,}42 - 0{,}35 = 2{,}07 \text{ ч}. \quad (4)$$

Накопленная чистая выгода на один цикл рассчитана по формуле 5:

$$g = (\Delta t - t_{maint}) \cdot r = (2{,}07 - 0{,}40) \cdot 45 = 75{,}15 \text{ руб}. \quad (5)$$

Начальные затраты на внедрение автоматизации вычислена по формуле 6:

$$T_{init} \cdot r = 60 \cdot 45 = 2700 \text{ руб}. \quad (6)$$

Точка окупаемости по числу циклов регрессии вычислена по формуле 7:

$$N^* = \frac{T_{init} * r + C_{tool}}{g} = \frac{2700}{75{,}15} \approx 36 \text{ циклов}. \quad (7)$$

Интерпретация рассчитанного показателя критически зависит от частоты регрессий, поскольку фактор «как часто тест нужно запускать» выделяется как ключевой критерий целесообразности автоматизации: чем больше релизов (циклов), тем выше выгода от автоматизации регрессии [3].

Рассмотрим два режима эксплуатации:

1 При редких прогонах (1 регрессия в месяц $N = 12$).

2 При частых прогонах (1 регрессия в неделю, $N = 52$).

Используя формулы выше получены значения для представленных ситуаций, включая *ROI* (таблица 1):

Таблица 1 – Сравнительный анализ показателей *ROI* автоматизации тестирования для различных режимов регрессионного тестирования

Показатель	**Режим A: $N = 12$**	**Режим B: $N = 52$**
Выгода по времени B	1117,8 руб.	4843,8 руб.
Затраты на поддержку $N \cdot t_{maint} \cdot r$	216 руб.	936 руб.
Общие затраты C	2916 руб.	3636 руб.
ROI по времени	−61,7 %	+33,2 %

Исходя из полученного значения при редких прогонах регрессии автоматизация может не окупиться на годовом горизонте; при частых прогонах – становится экономически целесообразной (положительный *ROI*, достижение точки окупаемости приблизительно на 36-м цикле).

Заключение. Проведенные расчеты показателей *ROI* и точки безубыточности показали, что автоматизация тестирования требует больших начальных трудозатрат по сравнению с ручным тестированием. Однако при дальнейшем использовании автоматизированные тесты позволяют заметно снизить затраты на выполнение повторных регрессионных проверок. При редком запуске регрессии автоматизация может не окупиться в пределах годового периода. Экономическая эффективность автоматизации напрямую зависит от того, как часто выполняются регрессионные проверки и насколько активно развивается программный продукт. Предложенная модель расчета может применяться при планировании тестирования в аналогичных проектах на базе *Spring*.

Список литературы

1. *Отчеты о покрытии кода JUnit тестами с помощью Maven плагина JaCoCo [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://habr.com/ru/articles/591553/. Дата доступа: 03.03.2026.*

2. *What Is Return on Investment (ROI) and How to Calculate It [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.investopedia.com/terms/r/returnoninvestment.asp. Дата доступа: 03.03.2026.*

3. *Automation Testing [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.guru99.com/automation-testing.html. Дата доступа: 05.03.2026.*

UDC 004.415.538

ROI OF AUTOMATION: ECONOMIC AND MATHEMATICAL MODEL OF FEASIBILITY

Kondratenko E.V., Shish P.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Kovalenko I.V. – head of the Department of Innovative Developments in Education, Master of Sci. (M. of Sci.), Senior Lecturer at the Department of ICSD

Annotation. The task of assessing the feasibility of implementing automated testing in an academic web application for a commercial library is considered. An economic and mathematical model for calculating the break-even point and ROI of automation is proposed, taking into account the time and investment costs of manual testing and development of autotests with infrastructure configuration, as well as the economic effect of reducing the time of regression testing and partially reducing the cost of defects due to earlier detection.

Keywords: manual testing, test automation, Java, Spring Boot, JUnit, integration testing, Jenkins, break-even point, ROI

УДК 004.415.533

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ДОСТУПНОСТИ КАК ЧАСТЬ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ

Концевая В.Д., Толстенков И.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Коваленко И.В. – магистр экономических наук, ст. преподаватель кафедры ПИКС

Аннотация. В статье рассматривается практический подход к автоматизации тестирования доступности веб-приложений. Описана интеграция инструментов *eslint-plugin-jsx-a*11*y*, *jest-axe* и *GitHub Actions* в процесс разработки *React*-приложений. Проведён эксперимент с демонстрационным приложением, позволивший выявить типичные нарушения требований доступности.

Ключевые слова: доступность веб-приложений, *accessibility testing*, автоматизация тестирования, *React*, *CI*/*CD*.

Введение. Доступность веб-приложений является важным требованием при разработке современных цифровых сервисов. Она обеспечивает возможность использования информационных систем различными категориями пользователей, включая людей с ограниченными возможностями. В Республике Беларусь необходимость обеспечения доступности информационных ресурсов закреплена рядом нормативных документов, в частности Законом «О социальной защите инвалидов в Республике Беларусь» и Законом «Об информации, информатизации и защите информации» [1]. На практике проблемы доступности часто выявляются только на этапе тестирования интерфейса. Это усложняет исправление ошибок и увеличивает затраты на разработку. В связи с этим актуальной задачей является внедрение автоматизированных инструментов проверки доступности непосредственно в процесс разработки. Целью работы является демонстрация практического подхода к автоматизации тестирования доступности веб-приложений.

Основная часть. Автоматизация тестирования доступности предполагает использование инструментов, позволяющих анализировать интерфейс на разных этапах разработки. В рамках исследования использовались следующие инструменты:

– *eslint-plugin-jsx-a*11*y* – плагин для линтера *ESLint*, выполняющий статический анализ *JSX*-разметки и выявляющий нарушения требований доступности [2];

– *jest-axe* – библиотека для автоматического анализа *DOM*-структуры после рендеринга компонентов;

– *GitHub Actions* – инструмент *CI*/*CD* для автоматического запуска проверок.

Совместное использование этих инструментов позволяет обнаруживать ошибки доступности как на этапе написания кода, так и при выполнении тестов.

Процесс автоматизированного тестирования доступности пользовательского интерфейса включает последовательность этапов, представленных ниже:

1 Статический анализ исходного кода компонентов с использованием *ESLint* и плагина *eslint-plugin-jsx-a11y*.

2 Выявление типичных нарушений доступности (отсутствие *alt* у изображений, отсутствие *label* у элементов формы, использование несемантических *HTML*-элементов).

3 Рендеринг компонентов в тестовой среде при помощи библиотеки *React Testing Library*.

4 Анализ сформированного *DOM*-дерева с использованием библиотеки *jest-axe*, основанной на движке *axe-core* [3].

5 Формирование отчёта о найденных нарушениях доступности.

6 Автоматический запуск проверок в *CI*/*CD*-пайплайне при каждом изменении кода.

Для демонстрации работы инструментов было создано тестовое *React*-приложение, содержащее несколько компонентов пользовательского интерфейса.

Пример компонента, содержащего нарушения доступности:

```
export default function BadCard() {
  return (
    <div onClick={() => alert(«Clicked!»)}>
      <img src=«/image.png» />
      <h2>Card title</h2>
    </div>
  );
}
```

В данном примере изображение не содержит альтернативного текста, а элемент *div* используется как интерактивный элемент. Такие решения ухудшают доступность интерфейса. При запуске проверки на ошибки выводится отчет об ошибках (рисунок 1).

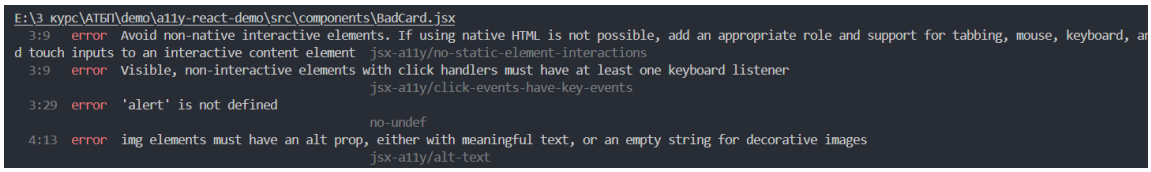


Рисунок 1 – Отчет об ошибках (*eslint-plugin-jsx-ally*)

Для автоматической проверки доступности используется библиотека *jest-axe*, которая анализирует *DOM* после рендеринга компонентов [3].

Пример тестового сценария:

```
import { render } from «@testing-library/react»;
import { axe, toHaveNoViolations } from «jest-axe»;
import App from «../App»;
expect.extend(toHaveNoViolations);
test(«App accessibility test», async () => {
  const { container } = render(<App />);
  const results = await axe(container);
  expect(results).toHaveNoViolations();
});
```

При обнаружении нарушений тест завершается со статусом *failed* и выводит отчёт об ошибках (рисунок 2).

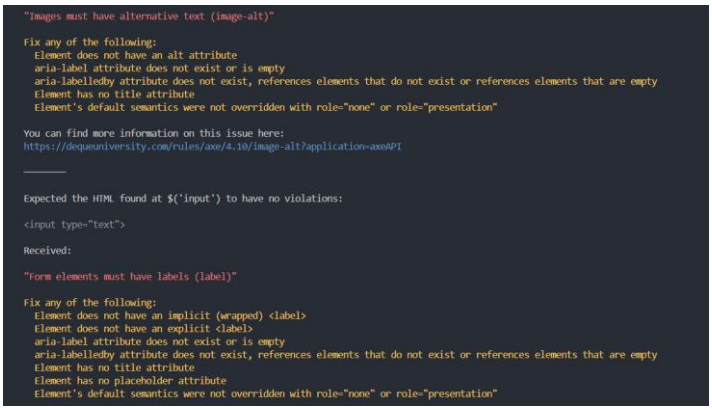


Рисунок 2 – Отчёт об ошибках (*jest-axe*)

Для автоматизации проверки был настроен *CI/CD*-пайплайн с использованием платформы *GitHub Actions* [4]. При каждом изменении кода выполняются установка зависимостей, запуск линтера и выполнение тестов доступности.

В ходе экспериментального применения предложенного подхода было протестировано демонстрационное *React*-приложение, содержащее несколько интерфейсных компонентов (карточки, формы ввода и кнопки взаимодействия). На начальном этапе анализа статический анализатор выявил несколько типичных нарушений доступности, включая отсутствие альтернативного текста у изображений и использование несемантических *HTML*-элементов для обработки пользовательских действий. Дополнительный анализ *DOM*-структуры при помощи библиотеки *jest-axe* обнаружил нарушения, связанные с отсутствием подписей у элементов формы. После исправления выявленных проблем повторный запуск тестов показал отсутствие нарушений доступности и успешное прохождение *CI*/*CD*-проверки.

Заключение. В работе продемонстрирован практический подход к автоматизации тестирования доступности веб-приложений. Использование инструментов *eslint-plugin-jsx-a*11*y, jest-axe* и *GitHub Actions* позволяет выявлять нарушения требований доступности на ранних этапах разработки. Результаты эксперимента показали, что интеграция автоматических проверок в процесс разработки повышает качество пользовательских интерфейсов и снижает вероятность появления регрессионных ошибок. Интеграция автоматизированных проверок доступности в процесс разработки позволяет разработчикам получать обратную связь о проблемах интерфейса непосредственно во время разработки. Это снижает вероятность появления ошибок доступности на поздних этапах проекта и уменьшает затраты на их исправление. Кроме того, автоматические проверки в *CI*/*CD*-пайплайне предотвращают повторное появление ранее исправленных дефектов, что повышает стабильность интерфейса и упрощает сопровождение проекта.

Список литературы

1. Закон Республики Беларусь «О социальной защите инвалидов в Республике Беларусь». – Минск, 1991.

2. eslint-plugin-jsx-a11y Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://github.com/jsx-eslint/eslint-plugin-jsx-a11y. – Дата доступа: 05.03.2026.

3. axe-core Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://github.com/dequelabs/axe-core. – Дата доступа: 05.03.2026.

4. GitHub Actions Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.github.com/actions. – Дата доступа: 05.03.2026.

UDC 004.415.533

AUTOMATION OF ACCESSIBILITY TESTING AS PART OF THE WEB APPLICATION DEVELOPMENT PROCESS

Kontsevaya V.D., Tolstenkov I.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Scientific supervisor: Kovalenko I.V. – Master of Economics, Senior Lecturer at the Department of ICSD

Annotation. The article describes a practical approach to automating accessibility testing during web application development. The integration of eslint-plugin-jsx-a11y, jest-axe and GitHub Actions into the development workflow of React applications is considered. An algorithm for automated accessibility testing is presented, including static code analysis and DOM testing. The experiment with a demo application revealed typical accessibility issues and demonstrated the effectiveness of automated checks.

Keywords: accessibility testing, web accessibility, test automation, React, CI/CD.

УДК 004.4

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ РАБОЧЕГО МЕСТА СПЕЦИАЛИСТА ОТДЕЛА СТАЖИРОВОК IT-КОМПАНИИ НА ОСНОВЕ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ФУНКЦИОНАЛА СИСТЕМ КЛАССА TMS

Косович П.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Пискун Е.С. – к.э.н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. В статье проведен сравнительный анализ систем класса TMS применительно к специфике IT-стажировок. На основе выявленных недостатков решений предложен проект программного средства автоматизации рабочего места специалиста, которое позволяет собирать результаты работы стажеров в единый цифровой профиль для принятия объективных, основанных на данных решений о трудоустройстве стажера в штат компании.

Ключевые слова: IT-стажировка, автоматизированное рабочее место, Talent Management System (TMS), матрица компетенций, принятие решений о найме, дорожная карта, менторство, мониторинг

Введение. IT-стажировка представляет собой интенсивный образовательный процесс под руководством технических экспертов (менторов), нацеленный на оперативное усвоение компетенций, необходимых для выполнения конкретных должностных обязанностей [1]. Основным барьером на пути к эффективному управлению стажировками является «функциональный разрыв» между модулем обучения и процедурой принятия управленческого решения о найме в существующих информационных решениях. Целью данной статьи является проведение сравнительного анализа функционала систем класса Talent Management System (TMS) и проектирование на основе выявленных недостатков программного средства автоматизации рабочего места специалиста, обеспечивающего эффективный мониторинг и объективный анализ результатов процесса стажировки.

Основная часть. Процесс проведения стажировок в IT-индустрии характеризуется высокой интенсивностью информационного обмена и активным вовлечением в обучение менторов. Согласно данным аналитического агентства Smart Ranking, лидерами белорусского и СНГ сегмента HRTech, чей функционал в области развития и онбординга персонала наиболее применим к задачам управления процессом IT-стажировок, являются программные решения Mirapolis HCM, Potok и Websoft HCM [2].

Для обоснования проектирования программного средства проведено исследование данных аналогов в контексте их применимости для управления процессом стажировки (таблица 1) [3,4,5]:

Таблица 1 – Функциональный обзор TMS аналогов

Критерий	Mirapolis HCM	Potok	Websoft HCM
Формирование цифрового профиля достижений стажеров	Нет	Нет	Нет
Визуализация дорожных карт	Нет	Да	Да
Дифференциация теоретических и практических модулей обучения	Да	Нет	Да
Отслеживание прогресса развития стажеров по навыкам	Да	Нет	Да
Сбор оценок и обратной связи от менторов	Да	Да	Да
Расчет рейтинга стажера	Нет	Нет	Нет
Управление нагрузкой менторов	Да	Да	Нет
Напоминания о дедлайнах по выполнению и проверке задач	Нет	Да	Да
Конструктор программ стажировок на основе типовых модулей	Да	Нет	Нет
Генерация отчетов для принятия решений о найме	Нет	Нет	Нет

На основании анализа таблицы 1 выявлено существование явного «функционального разрыва» между этапом мониторинга обучения и процедурой принятия решения о найме. В

универсальных TMS-решениях, таких как Mirapolis HCM, Potok, процесс стажировки зачастую рассматривается как упрощенный вариант адаптации сотрудника, где контроль усвоения профессиональных компетенций стажера заменяется формальными чек-листами. Более гибкие системы, такие как Websoft HCM, требуют трудоемкой настройки и перегружены избыточными модулями, что снижает оперативность работы менторов и специалистов в условиях данного вида стажировки.

Главным недостатком аналогов является отсутствие механизмов автоматического накопления достижений в рамках единого цифрового профиля стажера. Данные о результатах выполненных заданий и промежуточных ассессментов существуют обособленно и не обеспечивают комплексную оценку успешности кандидата. В результате, на этапе принятия итогового решения глава отдела вынужден полагаться на субъективные мнения, не подтвержденные объективной историей профессионального развития.

С целью устранения данных недостатков спроектировано программное средство автоматизации рабочего места специалиста отдела стажировок IT-компании. Диаграмма вариантов использования наглядно отображает базовые пользовательские требования, предъявляемые к программному средству (рисунок 1).

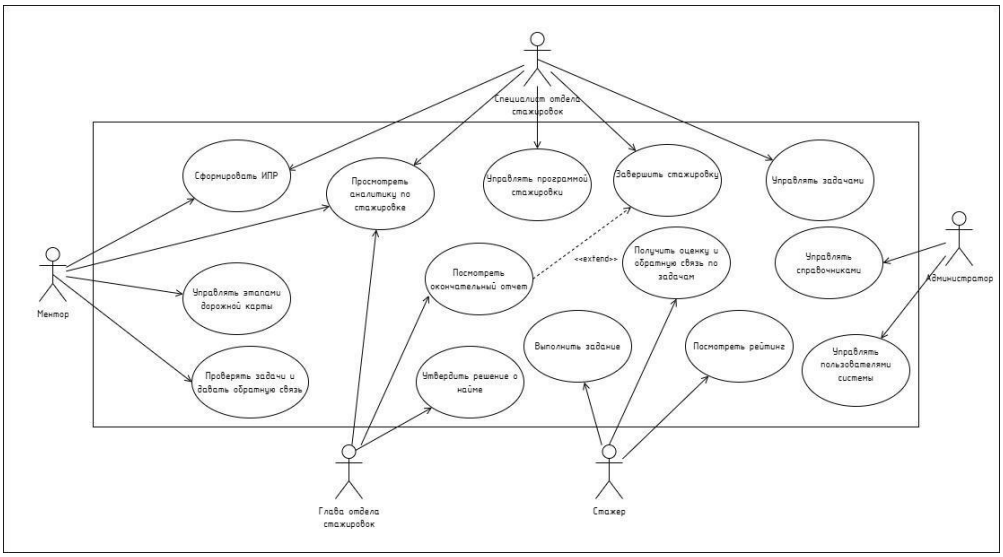


Рисунок 1 – Диаграмма вариантов использования

Диаграмма вариантов использования, представленная на рисунке 1, отражает комплексный подход к управлению жизненным циклом IT-стажировки. Ключевой инновационной составляющей проектируемого программного средства является механизм автоматической агрегации данных.

В отличие от существующих TMS-систем, где данные об обучении и результаты оценки часто разобщены, данное решение базируется на создании единого цифрового профиля стажера. В системе реализована сквозная связь: каждое действие в рамках дорожной карты (например, выполнение задачи, прохождение ассессмента) автоматически конвертируется в измеримые показатели компетенций. Такой подход позволяет трансформировать процесс завершения стажировки из субъективного одобрения в объективную процедуру, основанную на данных, исключая человеческий фактор при принятии решения о найме.

Реализация данной концепции обеспечивается через ролевую модель, адаптированную под уникальные процессы IT-компаний:

1 Специалист отдела стажировок выступает основным координатором процесса. Его функциональные возможности включают управление программами и профилями стажировок, формирование индивидуальных планов развития, контроль соблюдения дедлайнов и мониторинг общей аналитики по всем активным потокам обучения.

2 Ментор обеспечивает экспертное сопровождение процесса. В рамках системы ментор наполняет этапы дорожных карт материалами и практическими задачами, осуществляет проверку выполненных заданий, предоставляет обратную связь и оценивает прогресс освоения технических компетенций стажера.

3 Стажер является активным участником образовательного трека. Система предоставляет ему функционал для получения заданий, передачи результатов работы на проверку, отслеживания собственного прогресса и персонального рейтинга.

4 Глава отдела стажировок выполняет функции стратегического контроля и принятия управленческих решений. Руководитель получает доступ к отчетности и итоговым профилям достижений, на основе которых осуществляет процедуру утверждения решения о найме.

5 Системный администратор обеспечивает общую работу системы: управляет учетными записями пользователей и настраивает общесистемные справочники.

Совокупность описанных функциональных возможностей и ролевой модели формирует необходимый фундамент для автоматизации всего жизненного цикла стажировки.

Заключение. В ходе исследования проведен сравнительный анализ систем класса TMS, по результатам которого подтверждено отсутствие в универсальных решениях инструментов для глубокого анализа профессионального прогресса в IT-сфере. В связи с этим спроектировано программное средство автоматизации рабочего места специалиста отдела стажировок, устраняющее выявленные функциональные недостатки аналогов. Оно объединяет механизмы мониторинга дорожных карт с инструментами объективного анализа цифрового профиля достижений стажера, что позволяет перевести процедуру принятия управленческих решений о найме из плоскости субъективных оценок в область анализа, основанного на данных. Внедрение данного решения повысит эффективность управления процессом стажировки сотрудников.

Список литературы

1. *Стажировка в IT компании и ее виды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://it-atlas.ru/blog/stazhirovka-v-it-kompanii-i-ee-vidy. – Дата доступа: 03.03.2026.*

2. *Smart Ranking [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://smartranking.ru/ru/ranking/hrtech/. – Дата доступа: 03.03.2026.*

3. *Функциональность Mirapolis HCM [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.mirapolis.ru/hcm/. – Дата доступа: 05.03.2026.*

4. *Функциональность Potok [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://potok.io/onboarding/. – Дата доступа: 05.03.2026.*

5. *Функциональность Websoft HCM [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://websoft.ru/competencies-development. – Дата доступа: 05.03.2026.*

UDC 004.4

DESIGN OF A SOFTWARE TOOL FOR AUTOMATING THE WORKSTATION OF AN IT COMPANY INTERNSHIP DEPARTMENT SPECIALIST BASED ON A COMPARATIVE ANALYSIS OF TMS FUNCTIONALITY

Kosovich P.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Piskun E.S. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. The paper presents a comparative analysis of TMS solutions tailored to the specifics of IT internships. Based on the identified limitations of existing systems, the author proposes the design of a software tool to automate the workstation of an internship department specialist. The tool enables the consolidation of intern performance data into a unified digital profile, facilitating objective, data-driven decisions regarding full-time hiring.

Keywords: IT internship, automated workstation, Talent Management System (TMS), competency matrix, hiring decision-making, roadmap, mentorship, monitoring

УДК 004.451.25

АНАЛИЗ И ВЫБОР МЕТРИК ДЛЯ ОЦЕНКИ МОДЕЛЕЙ СЕМАНТИЧЕСКОГО СРАВНЕНИЯ: ОТ БАЗОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДО РАНГОВЫХ МЕТРИК

Крез К.С., Хлистунова К.В., Кузьмичкина Д.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Шнейдеров Е.Н. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ПИКС, проректор по учебной работе

Аннотация. В статье систематизированы подходы к оценке моделей семантического сравнения текстов (*Semantic Textual Similarity, STS*) и обоснован выбор метрик качества в зависимости от постановки задачи и архитектуры модели. Рассмотрены метрики сходства векторных представлений, показатели бинарной классификации, корреляционные критерии для шкального *STS*, а также ранговые метрики информационного поиска. Показано, что использование единственного показателя (например, корреляции или *Accuracy*) может приводить к некорректным выводам при переносе модели в прикладные сценарии, особенно в двухэтапных конвейерах *retrieval + re-ranking*. Предложен практический протокол эксперимента, включающий подбор порога на валидации, расчёт *F1*/*PR-AUC* для верификации и *nDCG@k*/*MRR*/*Recall@k* для задач ранжирования. Приведён пример вычисления метрик на типовых наборах данных и рекомендации по интерпретации результатов с учётом дисбаланса классов, калибровки шкалы и требований к полноте поиска.

Ключевые слова: семантическое сходство текстов; *STS*; метрики качества; эмбеддинги предложений; *cosine similarity*; *Pearson*; *Spearman*; *F1-score*; *PR-AUC*; ранжирование; *nDCG@k*; *MRR*; *Recall@k*; *bi-encoder*; *cross-encoder*; семантический поиск.

Введение. Семантическое сравнение текстов (*Semantic Textual Similarity, STS*) – класс задач обработки естественного языка, в которых требуется оценить смысловую близость двух фрагментов текста: предложений, абзацев или документов. В прикладных системах *STS* используется в семантическом поиске, дедупликации, выявлении парафразов, рекомендациях, обработке обращений пользователей, а также в *retrieval*-компонентах вопросно-ответных решений и *RAG*-архитектур, где качество поиска кандидатов напрямую влияет на качество итоговой генерации ответа [5].

Современные подходы к семантическому сравнению в большинстве случаев опираются на векторные представления (эмбеддинги): каждому тексту сопоставляется вектор в многомерном пространстве, а сходство оценивается функцией близости (чаще всего – косинусным сходством). Практическую основу такого направления во многом сформировали *sentence-embedding* модели, построенные по схеме *Siamese*/*bi-encoder*, например *Sentence-BERT* и его последователи [1]. Позднее получили развитие методы контрастивного обучения эмбеддингов, повышающие качество близости векторных представлений на широком спектре задач, включая *STS* и *retrieval* [3], а также текст-к-текст энкодеры, масштабируемые для представления предложений [4].

Однако ключевая проблема прикладной оценки заключается в том, что «качество» модели *STS* нельзя описать одной универсальной метрикой. В зависимости от постановки задачи система может:

– выдавать непрерывную оценку сходства (регрессия по шкале 0-5);

– принимать бинарное решение (парафраз/не парафраз);

– ранжировать множество кандидатов (поиск релевантных документов по запросу);

– сравнивать длинные документы, где сходство носит локальный характер (совпадение отдельных сегментов).

Каждая из этих постановок требует разных метрик и разных протоколов измерения. Например, высокая корреляция предсказаний с человеческими оценками на *STS*-датасете не

гарантирует, что релевантные документы будут попадать в верх выдачи поисковой системы. И наоборот: улучшение *nDCG@*10 может происходить при ухудшении полноты кандидатов (*Recall@k*), что критично для двухэтапных *retrieval + re-ranking* решений.

Цель данной статьи – систематизировать метрики для оценки моделей семантического сравнения, показать ограничения распространённых подходов и предложить практические рекомендации по выбору метрик в зависимости от сценария. В практической части демонстрируется типовой протокол вычисления метрик и интерпретации результатов для задач регрессии, классификации и ранжирования.

Основная часть. Семантическая близость отличается от лексического совпадения. Два текста могут выражать один смысл разными словами (парафраз), а также могут быть лексически похожими, но иметь различный смысл из-за отрицания, перестановки ролей, модальности или контекста. Поэтому «правильная» метрика должна соответствовать тому, как система будет использоваться на практике: сравнение двух конкретных фраз, поиск похожих документов в большом корпусе или оценка степени совпадений в длинном тексте.

Дополнительная сложность состоит в том, что даже «эталон» часто неоднозначен: человеческие оценки сходства субъективны, и разные аннотаторы могут по-разному понимать частичное совпадение смысла. Следовательно, модель в реальности аппроксимирует распределение оценок, а не детерминированную истину. Это особенно заметно в регрессионных задачах *STS*, где требуется согласованность с человеческой шкалой.

В практических системах широко применяются два семейства архитектур:

– *bi-encoder* (двухбашенная схема): каждый текст кодируется независимо, затем вычисляется сходство эмбеддингов (*cosine*/*dot-product*). Преимущество – высокая скорость и возможность индексировать документы заранее, что важно для поиска по большим коллекциям [1,3]. Недостаток – модель не «видит» пару целиком во время сравнения, из-за чего может хуже различать тонкие семантические нюансы.

– *cross-encoder*: пара текстов подаётся совместно, а модель выдаёт релевантность/сходство. Такая схема обычно точнее, но существенно дороже по вычислениям, поэтому её применяют для переранжирования небольшого списка кандидатов (*re-ranking*) после первого этапа *retrieval* [6].

Во многих системах используется двухэтапная стратегия: сначала быстрый *bi-encoder* достаёт *top-k* кандидатов, затем *cross-encoder* уточняет порядок. В этом случае оценка должна отдельно контролировать (а) полноту кандидатов на первом этапе (*Recall@k*), и (б) качество порядка выдачи после ранжирования (*nDCG@k, MRR*).

Метрики удобно группировать по тому, какую задачу они оценивают (таблица 1):

– метрики близости векторных представлений (*cosine, dot-product, L2*);

– метрики бинарной классификации (*Accuracy*, *Precision*, *Recall*, *F*1, *ROC-AUC*, *PR-AUC*);

– корреляционные метрики для шкального *STS* (*Pearson*, *Spearman*, *Kendall*);

– ранговые метрики для *retrieval* (*Recall@k, Precision@k, MRR, MAP, nDCG@k*).

Метрики для длинных текстов и сегментов (агрегации по сегментам, покрытия, методы «расстояния между распределениями»).

Таблица 1 – Метрики и корректная область применения

Группа метрик	**Примеры**	**Где применять**
Близость эмбеддингов	*cosine, dot, L2*	кластеризация, быстрый *retrieval*
Классификация	*Precision/Recall/F1, PR-AUC*	парафраз/верификация
Корреляция	*Pearson, Spearman*	*STS* по шкале
Ранжирование	*nDCG@k, MRR, Recall@k*	семантический поиск
Длинные тексты	покрытие сегментов, *max-avg*	документы/антиплагиат

Если модель предсказывает значение по шкале (например, 0–5), качество чаще измеряют корреляцией:

1 *Pearson* измеряет линейную связь между предсказанием и эталоном: хороша, когда важны именно численные значения, а не только порядок.

2 *Spearman* измеряет корреляцию рангов: полезна, когда важнее, чтобы модель правильно упорядочивала пары по близости (устойчива к нелинейным преобразованиям шкалы).

На практике корректно публиковать обе метрики: *Pearson* отражает «калибровку по шкале», *Spearman* – «согласованность порядка».

В семантическом поиске модель формирует ранжированный список документов. Здесь критичны ранговые метрики:

1 *Recall@k* – доля запросов, для которых релевантный документ попал в *top-k*. В двухэтапных системах это ключевой показатель первого этапа *retrieval*: если релевантный документ не найден, *re-ranking* не поможет.

2 *MRR* – среднее значение 1/*rank* первого релевантного документа; особенно важно для *QA*-сценариев, где нужен один лучший результат.

3 *nDCG@k* – учитывает позиции и, при необходимости, градуированную релевантность; обычно считается наиболее информативной метрикой качества выдачи на верхних позициях.

При сравнении документов (например, отчётов, курсовых, диалогов) «средний» эмбеддинг документа может скрывать локальные совпадения: часть текста может быть близкой, а часть – полностью оригинальной. Поэтому применяют сегментацию на предложения/абзацы и оценивают:

1 *max-avg similarity* – для каждого сегмента документа найти наиболее похожий сегмент в базе и усреднить;

2 *coverage*/покрытие – доля сегментов, для которых найден близкий сегмент выше порога (часто используется как компонент коэффициента заимствования);

3 Двухэтапную схему – быстрый поиск кандидатов по сегментам (контроль *Recall@k*), затем точная проверка *cross-encoder*'ом или более строгими правилами.

Демонстрационный протокол включает три типа задач:

1 *STS*-регрессия – сравнение предсказаний со шкалой человеческих оценок (*STS-B, SICK*).

2 Бинарная классификация – определение парафразов (*MRPC*) с подбором порога по *F*1 на валидации.

3 *Retrieval*-ранжирование – оценка качества выдачи по *nDCG@k* и *MRR* на корпусе с размеченной релевантностью (например, *BEIR* или доменный индекс).

Ниже приведен минимальный пример расчёта *Pearson*/*Spearman* для *STS-B* и *F*1 с подбором порога для *MRPC*. Для *retrieval*-задач расчёт *nDCG@k* и *MRR* выполняют по ранжированным спискам, полученным через векторный индекс (например, *FAISS*).

```
import numpy as np
from datasets import load_dataset
from sentence_transformers import SentenceTransformer
from scipy.stats import pearsonr, spearmanr
from sklearn.metrics import f1_score, precision_recall_curve
m = SentenceTransformer(«sentence-transformers/all-mpnet-base-v2»)
ds = load_dataset(«stsb_multi_mt», «en», split=«validation»)
e1 = m.encode(ds[«sentence1»], normalize_embeddings=True)
e2 = m.encode(ds[«sentence2»], normalize_embeddings=True)
pred = (e1 * e2).sum(axis=1)
gold = np.array(ds[«similarity_score»]) / 5.0
print(pearsonr(pred, gold).statistic, spearmanr(pred, gold).statistic)
mrpc = load_dataset(«glue», «mrpc», split=«validation»)
a = m.encode(mrpc[«sentence1»], normalize_embeddings=True)
b = m.encode(mrpc[«sentence2»], normalize_embeddings=True)
score = (a * b).sum(axis=1)
prec, rec, thr = precision_recall_curve(mrpc[«label»], score)
f1 = 2 * prec * rec / (prec + rec + 1e-9)
best_thr = thr[np.argmax(f1[:-1])]
```

```
    y_hat = (score >= best_thr).astype(int)
    print(«best_thr=«, float(best_thr), «F1=«, float(f1_score(mrpc[«label»],
y_hat)))
```

Предположим, что сравниваются две модели: базовая (например, *SBERT*-вариант) и дообученная на доменных парах. В *STS*-задаче дообучение может повысить *Spearman*, но снизить *Pearson*, если модель стала точнее упорядочивать пары, но хуже восстанавливать линейную шкалу. В бинарной задаче (*MRPC*) рост *F*1 при одновременном падении *Precision* может быть неприемлем, если возрастает доля ложных совпадений (таблица 2).

Для *retrieval*-компоненты рост *nDCG@*10 при одновременном падении *Recall@*100 означает улучшение ранжирования на верхних позициях, но ухудшение полноты кандидатов. Это сигнал о необходимости донастройки первого этапа *retrieval* или увеличения *k*.

Таблица 2 – Пример «карты» результатов (условные значения)

Метрика	***STS-B***	***SICK***
Cosine similarity	0,87	0,81
Pearson	0,89	0,84
Spearman	0,88	0,83
Accuracy (порог 0,7)	–	–
F1-score	–	–
MRR (retrieval)	0,91	–
nDCG@10 (retrieval)	0,93	–

Для проектов, где модели обновляются регулярно, целесообразно автоматизировать расчёт метрик и ведение «паспортов качества» (*model cards*): фиксировать данные, протокол и значения показателей. Это снижает риск регрессий и повышает воспроизводимость (таблица 3).

Таблица 3 – Примеры автоматизации контроля качества

Компонент	**Что автоматизируется**	**Результат**
Пайплайн метрик	Запуск расчета *Pearson/Spearman, F1, nDCG@k* на фиксированных наборах	Сопоставимость экспериментов и быстрый цикл сравнения.
Валидация на нескольких датасетах	Оценка на *STS-B, SICK, MRPC* и доменных данных	Выявление слабых мест и доменной чувствительности.
Визуализация	Гистограммы оценок, матрицы корреляций, ошибки по диапазонам	Диагностика выбросов и калибровки.
Мониторинг	Регулярный пересчет метрик на свежих данных	Раннее обнаружение деградации качества.

Заключение. Метрики оценки моделей семантического сравнения не могут быть сведены к одному числу, поскольку сами задачи различаются по формату выхода и по пользовательскому сценарию. Для *STS*-регрессии ключевыми являются корреляционные показатели (*Pearson*/*Spearman*), отражающие согласованность с человеческими оценками. Для бинарных постановок (парафраз/не парафраз) критичны метрики, устойчивые к дисбалансу, – *F*1, *Precision*/*Recall* и *PR-AUC*, а также корректный выбор и калибровка порога. Для *retrieval*-систем принципиальны ранговые метрики (*nDCG@k, MRR, MAP*) и показатели полноты (*Recall@k*), так как качество выдачи определяется тем, насколько быстро пользователь получает релевантный ответ.

Практическая рекомендация заключается в использовании пакета взаимодополняющих метрик, позволяющих контролировать как геометрию эмбеддингов, так и качество решений и ранжирования. Дополнительно важны воспроизводимость протокола, статистическая проверка значимости различий и мониторинг качества на доменных данных. Такой подход позволяет выбирать метрики осознанно, связывая их с рисками ошибок и ограничениями вычислительных ресурсов, и тем самым повышать надежность систем семантического сравнения в реальных приложениях.

Список литературы

1. *Reimers N., Gurevych I. Sentence-BERT: Sentence Embeddings using Siamese BERT-Networks. 2020.*
2. *Thakur N. et al. BEIR: A Heterogeneous Benchmark for Zero-shot Evaluation of Information Retrieval Models. 2021.*
3. *Gao L. et al. SimCSE: Simple Contrastive Learning of Sentence Embeddings. 2021.*
4. *Ni J. et al. Sentence-T5: Scalable Sentence Encoders from Pre-trained Text-to-Text Models. 2022.*
5. *Izacard G., Grave E. Leveraging Passage Retrieval with Generative Models for Open Domain Question Answering. 2021.*
6. *Thakur N., Reimers N., Daxenberger J., Gurevych I. Augmented SBERT / Retrieval & Re-ranking baselines and evaluation protocols. 2023–2026.*

UDC 004.451.25

ANALYSIS AND SELECTION OF METRICS FOR ASSESSING SEMANTIC COMPARISON MODELS: FROM BASIC INDICATORS TO RANKING METRICS

Krez K.S., Khlistunova K.V., Kuzmichkina D.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Schneiderov E.N. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD, vice-Rector for Academic Affairs

Annotation. This article systematizes approaches to evaluating semantic textual similarity (STS) models and substantiates the choice of quality metrics depending on the problem statement and model architecture. Similarity metrics for vector representations, binary classification metrics, correlation criteria for scale-based STS, and ranking metrics for information retrieval are considered. It is shown that using a single metric (e.g., correlation or accuracy) can lead to incorrect conclusions when transferring the model to applied scenarios, especially in two-stage retrieval + re-ranking pipelines. A practical experimental protocol is proposed, including threshold selection for validation, F1/PR-AUC calculation for verification, and nDCG@k/MRR/Recall@k for ranking tasks. An example of metric calculation on typical datasets is given, along with recommendations for interpreting the results, taking into account class imbalance, scale calibration, and search recall requirements.

Keywords: semantic textual similarity; STS; evaluation metrics; sentence embeddings; cosine similarity; Pearson correlation; Spearman correlation; F1-score; PR-AUC; ranking metrics; nDCG@k; MRR; Recall@k; bi-encoder; cross-encoder; semantic search.

УДК 004.415.533

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ДОСТУПНОСТЬ(ACCESSIBILITY) КАК ГАРАНТИРОВАТЬ УДОБСТВО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОДУКТА ДЛЯ ЛЮДЕЙ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ (НА БАЗЕ СТАНДАРТА WCAG)

Хлистунова К.В., Кузьмичкина Д.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Коваленко И.В. – магистр экономических наук, ст. преподаватель кафедры ПИКС

Аннотация. Разработан алгоритм комплексного тестирования веб-доступности на основе автоматизированных и ручных методов. Проведена сравнительная оценка инструментов по критериям пользы, точности, информативности и ремонтопригодности. Показано, что их изолированное применение не обеспечивает полного соответствия *WCAG 2.1 AA* [1]. Апробация на действующем сайте подтвердила эффективность комбинированного подхода.

Ключевые слова: веб-доступность, *WCAG 2.1*, автоматизированное тестирование, *Selenium*, *Axe DevTools*, цветовая контрастность.

Введение. Веб-доступность является ключевым требованием при разработке цифровых ресурсов. Стандарт *WCAG 2.1* регламентирует требования к воспринимаемости, управляемости, понятности и надежности веб-контента, при этом формальное соответствие рекомендациям не всегда обеспечивает фактическую доступность для пользователей с ограниченными возможностями [1].

Применяемые инструменты аудита позволяют выявить часть нарушений, но отличаются по глубине анализа и точности результатов. Возникает необходимость разработки алгоритма комплексного тестирования веб-доступности и оценки эффективности применяемых методов по объективным критериям.

Основная часть. Алгоритм комплексного тестирования веб-доступности реализуется в виде последовательности взаимосвязанных этапов, обеспечивающих формальную и сценарную проверку соответствия требованиям *WCAG 2.1* [1]:

1 Первичный автоматизированный аудит. Выполняется анализ веб-сайта с использованием инструмента *Lighthouse* [2]. Формируется интегральная оценка доступности и выявляются формализуемые нарушения: недостаточная цветовая контрастность, отсутствие обязательных атрибутов, ошибки семантической структуры документа. Формируется отчет с указанием проблемных элементов и их влияния на соответствие стандарту [1] (рисунок 1).

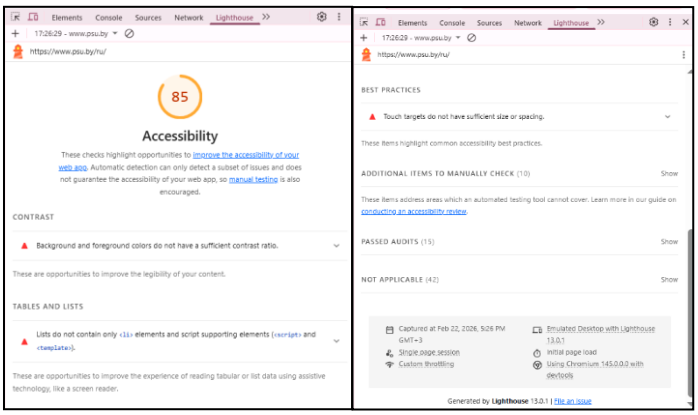


Рисунок 1 – Результаты автоматической проверки доступности в инструменте Lighthouse

2 Расширенное автоматизированное тестирование. Для глубины анализа используется *Selenium WebDriver* в связке с библиотекой *axe-core* [3,5]. Автоматизированный сценарий

выполняет обход страниц и формирует структурированный отчет в формате *JSON*. Для каждого нарушения фиксируются идентификатор, уровень критичности, описание, *HTML*-элемент и *CSS*-селектор. Это обеспечивает высокую точность локализации ошибок и повышает ремонтопригодность тестирования [3] (рисунок 2).

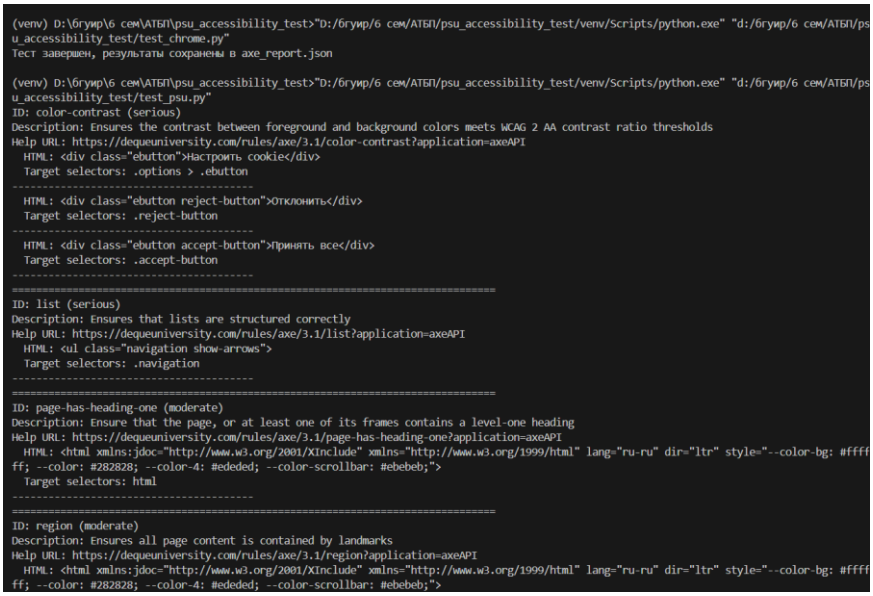


Рисунок 2 – Вывод результата использования *Selenium* и *axe-core*

3 Проверка масштабируемости интерфейса. Проводится анализ того, как ресурс выглядит при масштабировании до 200% [1,2]. Оценивается наличие горизонтальной прокрутки, перекрытие элементов и сохранение читаемости контента. Цель этапа – обнаружить проблемы с адаптивностью и удобством восприятия информации.

4 Клавиатурное тестирование. Проверяется порядок фокусировки элементов, корректности срабатывания кнопок и ссылок при навигации с клавиатуры, а также наличия четкой визуальной обратной связи при активации фокуса. Этап направлен на выявление нарушений управляемости, которые не фиксируются автоматическими средствами [1,5].

5 Тестирование с использованием экранного диктора. Анализ логической структуры заголовков, корректности разметки регионов и информативности ссылок направлен на оценку соответствия сайта принципам доступности и понятности для пользователей вспомогательных технологий [1,5].

6 Сравнительная оценка методов. Оценка примененных методов по четырем показателям: польза, точность, информативность и ремонтопригодность [5] (таблица 1).

Таблица 1 – Сравнительный анализ методов

Метод	**Польза**	**Точность**	**Информативность**	**Ремонтопригодность**
Lighthouse	Средняя	Высокая	Средняя	Средняя
Axe DevTools	Высокая	Высокая	Высокая	Высокая
Selenium + axe-core	Высокая	Высокая	Очень высокая	Высокая
Масштабирование	Средняя	Высокая	Наглядная	Средняя
Клавиатурное тестирование	Очень высокая	Максимальная	Средняя	Средняя
Screen reader	Критическая	Максимальная	Высокая	Низкая–средняя

Автоматизированные инструменты обеспечивают высокую точность и удобство локализации формальных нарушений [5], тогда как ручные методы обладают большей

социальной значимостью, выявляя сценарные дефекты взаимодействия. Максимальная полнота аудита достигается при их последовательном комбинировании.

Автоматические инструменты целесообразно использовать на ранних стадиях разработки и в рамках *CI/CD*, где требуется регулярный контроль формальных критериев *WCAG* [1,4].

Ручные методы лучше использовать на этапе предрелизного аудита, поскольку они позволяют выявлять логические и сценарные дефекты навигации и взаимодействия.

Максимальная полнота аудита достигается при комбинированном применении методов, когда автоматическая проверка обеспечивает нормативный контроль, а ручное тестирование – оценку реального пользовательского опыта.

Алгоритм проверен на действующем веб-сайте Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой. В ходе тестирования выявлены системные нарушения цветовой контрастности, ошибки семантической структуры документа, нарушения порядка фокусировки и проблемы масштабируемости интерфейса.

Проверка показала, что автоматизированные средства эффективно выявляют формальные дефекты, однако критически значимые сценарные нарушения обнаруживаются только при ручной проверке. Это подтверждает необходимость комплексного подхода

Список литературы

1. *Руководство по обеспечению доступности веб-контента (WCAG) 2.1. – Электрон. ресурс. – Режим доступа:* https://ifap.ru/ictdis/wcag21.htm – Дата доступа: 28.02.2026.

2. DevTools: как пользоваться инструментами разработчика в браузере // HTML Academy. – Электрон. ресурс. – Режим доступа: https://htmlacademy.ru/blog/soft/how-to-devtools – Дата доступа: 28.02.2026.

3. Персиваль *Г. Python. Разработка на основе тестирования / Г. Персиваль. – М. : ДМК Пресс, 2018. – 624 с.*

4. *Kim G., Humble J., Debois P., Willis J. The DevOps Handbook: How to Create World-Class Agility, Reliability, and Security in Technology Organizations. – Portland : IT Revolution Press, 2016. – 480 p.*

5. *Ли Коупленд. Практика автоматизированного тестирования программного обеспечения / К. Коупленд. – М. : Вильямс, 2004. – 704 с.*

UDC 004.415.533

AUTOMATION OF ACCESSIBILITY TESTING HOW TO ENSURE THE USABILITY OF THE PRODUCT FOR PEOPLE WITH DISABILITIES (BASED ON THE WCAG STANDARD)

Khlistunova K.V., Kuzmichkina D.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Kovalenko I.V. – Head of the Department of Innovative Developments in Education, Master of Economics, Senior Lecturer of the Department of PICS

Annotation. An algorithm for comprehensive web accessibility testing based on automated and manual methods has been developed. A comparative evaluation of the tools was carried out according to the criteria of usefulness, accuracy, informativeness and maintainability. It is shown that their isolated use does not ensure full compliance with WCAG 2.1 AA. Testing on the current website has confirmed the effectiveness of the combined approach.

Keywords: web accessibility, WCAG 2.1, automated testing, Selenium, color contrast, keyboard navigation.

УДК 004.5

АНАЛИЗ СУБПАНЕЛИ АВИАЛАЙНЕРА *AIRBUS A*320 НА СООТВЕТСТВИЕ ТРЕБОВАНИЯМ ИНЖЕНЕРНОЙ ПСИХОЛОГИИ

Маханьков Д.Д., Рудько В.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Алефиренко В.М. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. В работе проведен анализ размеров субпанели аудиосвязи и ее компонентов авиалайнера *Airbus A*320 на соответствие требованиям инженерной психологии. Выявлено, что некоторые параметры не соответствуют данным требованиям.

Ключевые слова: инженерная психология, человек-оператор, панель управления, информационное взаимодействие, пространственные характеристики.

Введение. История авиации имеет множество примеров, когда технически исправный самолет терпел катастрофу из-за ошибочных действий пилотов, спровоцированных несовершенством приборной панели. При этом значительная часть данных ошибок вызвана не низкой квалификацией летчика, а существенными недоработками в интерфейсе: плохой читаемостью средств отображения информации при определенных углах освещения, схожестью расположения критически важных тумблеров, нечеткой сигнализацией об отказах.

Основная часть. Современная авиация предъявляет высокие требования к безопасности полетов, где ключевым звеном остается взаимодействие человека и техники. Кабина пилотов, в частности приборная панель, является основным интерфейсом, через который экипаж получает информацию о состоянии систем воздушного судна и осуществляет управление им. От того, насколько эргономично и интуитивно понятно организована панель, напрямую зависят скорость реакции пилота в нештатной ситуации, вероятность ошибочных действий и безопасность полета.

Приборные панели воздушных судов представляют собой сложные комплексы, состоящие из большого количества субпанелей, каждая из которых отвечает за определенные параметры и действия различных частей самолета. Для равномерного распределения такого числа субпанелей в ограниченном пространстве кабины в некоторых случаях прибегают к уменьшению размеров их компонентов, что может негативно сказываться на правильной и оперативной реакции пилота в нештатных ситуациях, а также приводить к риску гибели пассажиров судна. Поэтому необходимо, чтобы данные панели удовлетворяли всем требованиям инженерной психологии и эргономики. Для этого проведем анализ пространственных характеристик субпанели аудиосвязи и ее компонентов авиалайнера *Airbus A*320 (рисунок 1) [1].



Рисунок 1 – Внешний вид субпанели аудиосвязи

Субпанель аудиосвязи используется для выбора режима передачи и приема всех радиоканалов связи и навигационных аудиоканалов, внутренней связи, системы вызова и системы оповещения пассажиров [2].

Проводимый анализ включает сравнение фактических размеров субпанели и ее отдельных компонентов с минимально и максимально допустимыми размерами,

соответствующими требованиям инженерной психологии. Это позволяет понять, насколько четко и безошибочно пилот сможет распознавать и считывать информацию с индикаторов и надписей, находясь на заданном расстоянии от субпанели.

Расчет ведем по методике, изложенной в [3, 4].

Размеры, а также площадь панели управления (ПУ) определяются не только конструкторскими требованиями, но и требованиями инженерной психологии.

Максимально допустимый размер ПУ определяется исходя из горизонтального и вертикального угловых размеров зоны периферического зрения оператора и заданного расстояния до ПУ.

Максимальная длина, высота и площадь ПУ равны:

$$L_{П.У.max} = 2l \cdot tg\frac{\alpha_г}{2}, \quad (1)$$

$$H_{П.У.max} = 2l \cdot tg\frac{\alpha_в}{2}, \quad (2)$$

$$S_{П.У.max} = L_{П.У.max} \cdot H_{П.У.max}, \quad (3)$$

где l – расстояние до ПУ;

$\alpha_г$ – горизонтальный угол периферического зрения;

$\alpha_в$ – вертикальный угол периферического зрения.

Для зоны периферического зрения оператора принимают $\alpha_г = 90°$, $\alpha_в = 75°$, если нет ограничений по условиям работы оператора.

Расстояние до ПУ определяется зонами досягаемости рук оператора или реальным рабочим расстоянием, с которого ведется управление прибором или считывание информации.

Минимально допустимые размеры ПУ определяются исходя из объема оперативной памяти и оперативного (центрального) поля зрения оператора. В соответствии с требованиями инженерной психологии в поле зрения оператора, ограниченным углом оперативного поля зрения $\alpha_{П.З.}$, должно попадать 6 ± 2 компонента ПУ.

Площадь оперативного поля зрения может быть определена по формуле:

$$S_{П.З.} = h \cdot h = \left(2l \cdot tg\frac{\alpha_{П.З.}}{2}\right)^2, \quad (4)$$

где h и $\alpha_{П.З.}$ – линейный и угловой размеры оперативного поля зрения.

Минимальная площадь ПУ, удовлетворяющая требованиям инженерной психологии, равна:

$$S_{П.У.min} = \frac{N}{N_{П.З.}} \cdot S_{П.З.}, \quad (5)$$

где N – количество компонентов, расположенных на ПУ;

$N_{П.З.}$ – объем оперативной памяти оператора.

Величина угла оперативного (центрального) поля зрения принимается равной $\alpha_{П.З.} = 4°$-$10°$.

Для наилучшего восприятия информации фактическая площадь ПУ $S_{П.У.Ф.}$ должна лежать в пределах:

$$S_{П.У.min} \leq S_{П.У.Ф.} \leq S_{П.У.max}. \quad (6)$$

Размеры компонентов ПУ, высота надписей, символов, знаков на ПУ и на компонентах (органах управления и индикации) должны быть такими, чтобы с заданного до ПУ расстояния оператор мог надежно их распознавать и безошибочно считывать информацию с индикаторов и надписей.

Минимально допустимая высота знака может быть определена согласно выражению:

$$H_{3min} = 2l \cdot tg\frac{\alpha_з}{2}, \quad (7)$$

где $\alpha_з$ – допустимый (минимальный) угловой размер знака.

Для простых знаков $\alpha_з$ = 15', для сложных знаков $\alpha_з$ = 30'-40'.

Минимально допустимая ширина знака определяется по формуле:

$$B_{3min} = F \cdot H_{3min}, \quad (8)$$

где F – формат знака.

Правильность результатов анализа в первую очередь будет зависеть от достоверности исходных данных.

Расстояние до субпанели будет изменяться в зависимости от типа работ. При считывании информации оно составит 0,8 м, а при вводе и управлении будет равным 0,5 м. Поэтому в расчетах используем оба значения для того, чтобы убедиться в возможности восприятия пилотом информации во всех его рабочих положениях.

Поскольку условия работы не предполагают каких-либо ограничений, то принимаем угол периферического зрения оператора по горизонтали $\alpha_г$ = 90° и вертикали $\alpha_в$ = 75°.

Величину угла оперативного поля зрения принимаем равной $\alpha_{П.З.}$ = 5°, а количество компонентов, которые должны попадать в это поле, равным четырем. Выбор минимальных значений из допустимых обусловлен ответственной и сложной работой пилота.

При расчете параметров будем считать надписи как сложные знаки, состоящие из простых (отдельные буквы). Для всех простых знаков принимаем $\alpha_з$ = 15', для сложных знаков – $\alpha_з$ = 30'.

Вышеописанные и другие исходные данные, необходимые для расчетов, сводим в (таблицу 1):

Таблица 1 – Исходные данные для анализа пространственных характеристик субпанели

Наименование	**Обозначение**	**Величина**
Минимальное расстояние до пульта управления	l_{min}	0,5 м
Максимальное расстояние до пульта управления	l_{max}	0,8 м
Угол периферического зрения оператора по горизонтали	$\alpha_г$	90°
Угол периферического зрения оператора по вертикали	$\alpha_в$	75°
Величина угла оперативного поля зрения	$\alpha_{П.З.}$	5°
Объем оперативной памяти оператора	$N_{П.З.}$	4
Количество компонентов, расположенных на ПУ	N	26
Допустимый угловой размер сложных знаков	$\alpha_з$	15'
Допустимый угловой размер сложных знаков	$\alpha_з$	30'
Формат знака	F	2/3

Результаты расчетов, проведенные по формулам 1-5 приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчетов размеров субпанели

Расстояние до ПУ l, мм	**$L_{П.У.max}$, мм**	**$H_{П.У.max}$, мм**	**$S_{П.У.min}$, мм^2**	**$S_{П.У.Ф.}$, мм^2**	**$S_{П.У.max}$, мм^2**	**Проверка выполнения условия**
500	1000	767,33	12390,82	12410	767330	Выполняется
800	1600	1227,72	31720,46	12410	1964352	Выполняется

Как видно из таблицы, фактические размеры субпанели аудиосвязи лежат в требуемых пределах при всех вариантах расстояния до ПУ. Следовательно, сложности в работе с данной субпанелью не возникает. Результаты расчетов размеров компонентов (надписей) субпанели представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Фактические и минимально допустимые размеры надписей ПУ

Расстояние до ПУ *l*, мм	**Тип знака**	**Фактическая высота знака, $H_{зф}$, мм**	**Минимально допустимая высота знака, $H_{зmin}$, мм**	**Фактическая ширина знака, $B_{зф}$, мм**	**Минимально допустимая ширина знака, $B_{зmin}$, мм**	**Проверка выполнения условия**
500	Простой	7,5	2,2	0,8	1,46	Не выполняется
800			3,52		2,35	Не выполняется
500	сложный	7,5	4,4	6,8	2,93	Выполняется
800			7,04		4,69	Выполняется

Из результатов видно, что простые знаки не удовлетворяют требованиям по ширине при различных рабочих расстояниях до ПУ.

Заключение. Анализ пространственных характеристик субпанели аудиосвязи авиалайнера *Airbus A*320 показал, что ее фактические размеры удовлетворяют требованиям инженерной психологии при работе на любом из рассмотренных расстояний. Размеры простых знаков не соответствуют необходимым величинам. Однако следует отметить, что нарушение выполнения требования по размерам простыми знаками не оказывает особо негативного влияния, так как пилот оперирует надписями (сложными знаками), состоящими из данных букв.

Список литературы

1. *ACP320 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.cpflight.com/de/acp320-prod-116.php. – Дата доступа: 17.02.2026.*

2. *Панель ACP [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://sim-on-a320.com/pin-out/acp-panel-back-pin-rail/. – Дата доступа: 17.02.2026.*

3. *Душков, Б. А. Основы инженерной психологии / Б. А. Душков [и др.]; под ред. Б. Ф. Ломова. – М. : Высш. шк., 1986. – 448 с.*

4. *Рыжковская, М.С. Анализ размеров компонентов биометрических терминалов систем контроля доступа / М.С. Рыжковская, В.М. Алефиренко // Znanstvena misel journal. – 2019. – Vol. 1, №30. – С. 36-41.*

UDC 004.5

ANALYSIS OF THE AIRBUS A320 AIRLINER SUBPANEL FOR COMPLIANCE WITH ENGINEERING PSYCHOLOGY REQUIREMENTS

Makhankov D.D., Rudko V.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Alefirenko V.M. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. The study analyzed the dimensions of the Airbus A320's audio subpanel and its components for compliance with human-machine engineering requirements. It was found that some parameters do not meet these requirements.

Keywords: engineering psychology, human-operator, control panel, information interaction, spatial characteristics.

УДК 004.8:339.1

АГЕНТНЫЕ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ REASONING-LLM ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ЦИКЛА МАРКЕТИНГОВЫХ КАМПАНИЙ В ЭЛЕКТРОННОЙ КОММЕРЦИИ

Нуансенгси Д.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Пискун Г.А. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. Исследована архитектура мультиагентной системы на базе reasoning-моделей (LLM с расширенными рассуждениями) для автоматизации полного цикла управления маркетинговыми кампаниями в электронной коммерции. Предложена система из четырёх специализированных агентов: Planner-агент (формирование медиаплана и KPI), Creative-агент (генерация рекламных креативов), Experiment-агент (проектирование и проведение A/B-тестов), Analyst-агент (интерпретация результатов и корректировка стратегии). Разработана методика оценки эффективности агентной системы по маркетинговым и процессным метрикам. Экспериментально установлено, что агентная система обеспечивает преимущество при задачах средней сложности (сокращение времени подготовки кампаний до 60%, повышение стабильности стратегий), однако при высокой сложности проявляется эффект «коллапса креативности», согласующийся с ранее выявленными ограничениями масштабирования reasoning-моделей. Обоснована необходимость гибридного подхода с обязательным экспертным контролем (human-in-the-loop) на критических этапах принятия решений.

Ключевые слова: AI-агенты, reasoning-модели, мультиагентная система, маркетинговая автоматизация, электронная коммерция, оркестрация, human-in-the-loop, A/B-тестирование.

Введение. Современный рынок электронной коммерции характеризуется высокой конкуренцией и необходимостью оперативного управления маркетинговыми кампаниями. По данным IDC, мировые расходы на искусственный интеллект достигнут 632 млрд долларов к 2028 году [1]. Объём мирового рынка AI-агентов оценивается в 5,9 млрд долларов в 2024 году и, по прогнозам, вырастет до 105,6 млрд долларов к 2034 году при среднегодовом темпе роста 38,5% [2]. При этом 85% предприятий планируют использовать маркетинговых AI-агентов к 2026 году, а специализированные агенты уже сокращают время создания кампаний на 60% и повышают ROI на 32% [3].

Вместе с тем традиционное использование генеративных моделей (LLM) в маркетинге ограничивается генерацией текстовых креативов «по запросу». LLM сама по себе не может запустить кампанию, оптимизировать ставку или обеспечить соблюдение стандартов бренда без участия человека [4]. Агентная система, в отличие от изолированного LLM, способна не только генерировать контент, но и планировать, действовать, наблюдать за результатами и адаптировать стратегию – реализуя парадигму «Reason–Act–Observe» (ReAct) [5]. Однако, как показали исследования Apple [6] и ранее выполненная авторами работа [7], reasoning-модели демонстрируют три режима производительности в зависимости от сложности задач: при низкой сложности стандартные LLM эффективнее, при средней – reasoning-модели дают преимущество, а при высокой – обе категории моделей испытывают «коллапс».

В данной статье предлагается архитектура мультиагентной системы на базе reasoning-LLM, предназначенной для автоматизации полного цикла маркетинговых кампаний: от постановки целей до анализа результатов и обновления стратегии. Исследуется эффективность такой системы в сравнении с классическим подходом «маркетолог + LLM» и анализируются границы применимости агентного подхода с учётом выявленных ограничений reasoning-моделей.

Основная часть. Агентная система (Agentic AI) представляет собой принципиально новый класс систем автоматизации, отличающийся от традиционных инструментов

автоматизации и пассивных AI-ассистентов. Такая система способна: понимать широкий контекст маркетинговых целей; принимать информированные решения на основе данных в реальном времени; выполнять конкретные действия для достижения целей; обучаться на результатах и адаптировать подход [8]. Ключевым отличием агентного ИИ от генеративного является переход от парадигмы «генерация по запросу» к парадигме «планирование–исполнение–анализ–адаптация». Если генеративный ИИ – это «фрилансер», выполняющий разовые задания, то агентный ИИ – это «руководитель проекта и команда», управляющий всем процессом [9].

Предлагаемая архитектура мультиагентной системы для маркетинга построена на паттерне «Planner–Executor» [10] и включает четыре специализированных агента, координируемых агентом-оркестратором (Supervisor). Данный подход согласуется с концепцией мультиагентных систем Google Agent Development Kit (ADK), в которой агенты организуются иерархически: корневой LLM-агент управляет подчинёнными агентами, используя их как инструменты [11]. Архитектура системы представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Архитектура мультиагентной системы для маркетинга

Агент	Функция	Область тестирования
Supervisor (Оркестратор)	Координация агентов, контроль ограничений (бюджет, brand-safety), маршрутизация задач	Orchestration engine, бизнес-правила, guardrails
Planner-агент	Формирование медиаплана, целевых KPI, бюджетирование, выбор каналов и сегментов аудитории	CRM API, аналитика маркетплейса, исторические данные KPI
Creative-агент	Генерация рекламных текстов, заголовков, описаний товаров с учётом сегмента аудитории	LLM (reasoning-режим), шаблоны креативов, brand guidelines
Experiment-агент	Проектирование A/B-тестов, распределение трафика, мониторинг статистической значимости	API рекламных платформ, статистические модули, Google Ads / Meta Ads API
Analyst-агент	Интерпретация KPI, формирование отчётов, рекомендации по корректировке стратегии	BI-инструменты, дашборды, аналитические SQL-запросы

Цикл работы системы реализует паттерн ReAct (Reason–Act–Observe) [5] и включает следующие этапы: 1) Planner-агент анализирует бизнес-цели и формирует медиаплан с целевыми KPI; 2) Creative-агент генерирует варианты креативов для выбранных сегментов; 3) Experiment-агент проектирует A/B-тест и распределяет трафик; 4) Analyst-агент анализирует результаты и формирует рекомендации; 5) Supervisor проверяет результаты на соответствие ограничениям и передаёт рекомендации Planner-агенту для следующей итерации. При этом на каждом этапе предусмотрены механизмы экспертного контроля (human-in-the-loop), реализуемые через систему уровней одобрения: автоматическое (confidence ≥ 0,85), быстрый ревью (0,70–0,85), экспертный ревью (< 0,70 или обнаружение высокорискового действия) [12].

Для экспериментальной оценки агентной системы разработана методика, включающая три уровня сложности маркетинговых задач – по аналогии с методологией, предложенной в [7] для оценки reasoning-моделей, и согласующаяся с исследованием трёх режимов сложности Apple [6]. Низкая сложность (N = 3–5 параметров): формирование описания одного товара, создание короткого рекламного поста, настройка таргетинга по одному сегменту. Средняя сложность (N = 6–10): разработка кампании для нескольких товарных категорий с A/B-тестированием, бюджет 25–45 тыс. руб., несколько рекламных каналов. Высокая сложность (N = 11–15): годовая маркетинговая стратегия для 10+ товарных линеек, бюджет 30–50 млн руб., мультиканальная кампания с сезонным планированием.

Сравнение проводилось с двумя бейзлайнами: 1) маркетолог + обычный LLM (без reasoning-режима, без агентов) – стандартный подход генерации контента «по запросу»; 2) маркетолог без использования LLM (для ограниченного числа кейсов). Оценка

осуществлялась по двум группам метрик: маркетинговые (CTR, конверсия, CPA, ROI) и процессные (время на полный цикл кампании, число итераций, количество правок эксперта). Дополнительно применялись метрики качества рассуждений из [7]: BLEURT-балл для оценки релевантности стратегий, экспертные оценки по 5-балльной шкале, оценка уникальности генерируемых подходов.

Таблица 2 – Результаты экспериментальной оценки агентной системы

Уровень сложности	Подход	Время цикла	Экспертных правок	Качество стратегии
Низкая (N = 3–5)	Агентная система	~15 мин	0–1	4,1/5
	Маркетолог + LLM	~20 мин	1–2	4,3/5
	Маркетолог	~45 мин	–	4,5/5
Средняя (N = 6–10)	Агентная система	~2 ч	2–3	4,4/5
	Маркетолог + LLM	~5 ч	5–7	3,8/5
	Маркетолог	~12 ч	–	4,2/5
Высокая (N = 11–15)	Агентная система	~6 ч	8–12	2,8/5
	Маркетолог + LLM	~8 ч	6–8	2,5/5
	Маркетолог	~24 ч	–	3,9/5

Результаты экспериментов (таблица 2) подтверждают наличие трёх режимов эффективности агентной системы, аналогичных режимам reasoning-моделей [6, 7]. При низкой сложности агентная система несколько уступает ручному подходу по качеству стратегии (4,1 против 4,5), однако значительно сокращает время (в 3 раза). Максимальное преимущество агентной системы проявляется при средней сложности: время сокращается в 2,5 раза по сравнению с подходом «маркетолог + LLM» и в 6 раз по сравнению с ручным подходом, при этом качество стратегий возрастает до 4,4/5 за счёт системного итеративного цикла «планирование–тест–анализ–корректировка».

При высокой сложности наблюдается деградация качества генерируемых стратегий до 2,8/5 – эффект, который согласуется с «коллапсом креативности» reasoning-моделей, описанным в [6, 7]. Агенты начинают генерировать шаблонные стратегии, опираясь на ограниченный набор маркетинговых фреймворков (4P Framework – 23%, AIDA – 18%, Jobs-to-be-Done), а уровень «перезаимствования» стратегий между различными промптами возрастает до 47–78% [7]. В этом режиме количество экспертных правок увеличивается в 4–6 раз, нивелируя преимущество автоматизации. Данное наблюдение подтверждает вывод о контринтуитивном снижении reasoning-усилий моделей при приближении к порогу сложности [6]: модели начинают «думать меньше» несмотря на возрастающую трудность задачи.

Внедрение агентных систем в маркетинг сопряжено с рисками, характерными для автономных AI-систем [12, 13]. Во-первых, ошибка агентного решения может приводить к прямым финансовым потерям (нецелевой расход бюджета, нарушение рекламных политик платформ). Во-вторых, автоматическая генерация креативов несёт риск галлюцинаций LLM – некорректных свойств товара, ложных обещаний бренда. В-третьих, персонализация на основе AI может усиливать дискриминационные предвзятости по полу, возрасту, географии. Для митигации данных рисков предложена трёхуровневая система контроля: 1) pre-action approval – обязательное одобрение бюджетов выше порогового значения; 2) exception-only escalation – агент работает автономно до момента снижения confidence-скора; 3) post-action review – выборочная проверка результатов экспертом с фиксацией в журнале аудита [12]. Gartner прогнозирует, что к концу 2026 года 40% корпоративных приложений будут включать агентов ИИ для специализированных задач [13].

Заключение. Разработана и экспериментально исследована мультиагентная система на базе reasoning LLM для автоматизации маркетинговых кампаний в e-commerce, включающая четырёх специализированных агентов и Supervisor-агента в паттерне Planner–Executor с циклом ReAct. Показано, что на задачах средней сложности (N = 6-10) система сокращает время цикла в 2,5-6 раз при качестве стратегий до 4,4/5, тогда как при высокой сложности (N = 11-15) наблюдается «коллапс креативности» с ростом шаблонности решений и

перезаимствования до 47-78%. Предложена трёхуровневая схема human-in-the-loop контроля, обеспечивающая баланс между автоматизацией и безопасностью и пригодная для построения AI-систем маркетинга на маркетплейсах

Список литературы

1. *Worldwide Spending on Artificial Intelligence Forecast to Reach $632 Billion in 2028, According to a New IDC Spending Guide [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.idc.com – Date of access: 10.03.2026.*
2. *AI Agents Market Size & Share 2025–2034 / Global Market Insights [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.gminsights.com/industry-analysis/ai-agents-market – Date of access: 10.03.2026.*
3. *12 Best Marketing AI Agents for E-commerce Growth in 2025 / Madgicx [Electronic resource]. – Mode of access: https://madgicx.com/blog/marketing-ai-agents – Date of access: 10.03.2026.*
4. *What makes AI 'agentic', and why it matters for the future of advertising / Scope3 [Electronic resource]. – Mode of access: https://scope3.com/news/what-makes-ai-agentic – Date of access: 10.03.2026.*
5. *Yao, S. ReAct: Synergizing Reasoning and Acting in Language Models / S. Yao [et al.] // ICLR 2023. – 2023.*
6. *Shojaee, P. The Illusion of Thinking: Understanding the Strengths and Limitations of Reasoning Models via the Lens of Problem Complexity / P. Shojaee [et al.] // Apple. – 2025.*
7. *Пискун, Е.С. Ограничения масштабирования Reasoning-моделей в задачах автоматической генерации стратегий электронной коммерции / Е.С. Пискун, Д.В. Нуансенгси // Веснік ГрДУ. Серыя 2. – 2025. – Т. 15, № 3. – С. 150–156.*
8. *Mastering LLM Interaction: Preparing Marketing Teams for Agentic AI Success with MCP / Open Strategy Partners [Electronic resource]. – Mode of access: https://openstrategypartners.com – Date of access: 10.03.2026.*
9. *Agentic AI for Marketing Teams / Writer [Electronic resource]. – Mode of access: https://writer.com/blog/agentic-ai-marketing – Date of access: 10.03.2026.*
10. *Planner-Executor Agentic Framework / Emergent Mind [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.emergentmind.com/topics/planner-executor-agentic-framework – Date of access: 10.03.2026.*
11. *Google Cloud Startup Guide for AI Agents / Google [Electronic resource]. – Mode of access: https://cloud.google.com – Date of access: 10.03.2026.*
12. *Guardrails That Actually Work: Evaluations & Human-in-the-Loop / AgentsLed [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.agentsled.com – Date of access: 10.03.2026.*
13. *Why Agentic Marketing Needs Guardrails: Bias, Hallucinations, and Oversight / Hendry.ai [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.hendry.ai – Date of access: 10.03.2026.*

UDC 004.8:339.1

REASONING-LLM-BASED AGENT SYSTEMS FOR AUTOMATING THE MARKETING CAMPAIGN CYCLE IN E-COMMERCE

Nuansengsy D.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Piskun G.A. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. The paper presents a multi-agent system built on reasoning-capable LLMs to automate the full marketing campaign cycle in e-commerce. The system includes four agents: Planner (media planning and KPI definition), Creative (ad creative generation), Experiment (A/B test setup and execution), and Analyst (result interpretation and strategy updates). An evaluation methodology based on marketing and process metrics shows that the system is most effective on medium-complexity tasks, reducing campaign preparation time by up to 60% and improving strategy stability. At high complexity, a “creativity collapse” appears, aligning with known scaling limits of reasoning models, which justifies a hybrid setup with mandatory human-in-the-loop control at critical decision points.

Keywords: AI agents, reasoning models, multi-agent system, marketing automation, e-commerce, orchestration, human-in-the-loop, A/B testing

УДК 004.8:339.1

СИНТЕТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ РЕКЛАМНЫХ МОДЕЛЕЙ В ЭЛЕКТРОННОЙ КОММЕРЦИИ: МЕТОДЫ ГЕНЕРАЦИИ, ПРИВАТНОСТЬ И ОГРАНИЧЕНИЯ

Нуансенгси Д.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Пискун Г.А. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. Рассмотрены методы генерации синтетических данных (CTGAN, TVAE, диффузионные модели) для обучения рекламных CTR-моделей в электронной коммерции. Предложена методика оценки влияния синтетических данных на качество модели с использованием набора данных Criteo. Установлено, что аугментация выборки синтетическими примерами повышает AUC на 2,9%, тогда как полная замена реальных данных приводит к model collapse (–8,6% AUC). Обоснована необходимость гибридного подхода с применением дифференциальной приватности.

Ключевые слова: синтетические данные, CTGAN, CTR-прогнозирование, электронная коммерция, дифференциальная приватность, model collapse, аугментация данных.

Введение. Рекламные модели, прогнозирующие вероятность клика (CTR) и конверсии, составляют основу монетизации современных платформ электронной коммерции. Качество таких моделей напрямую зависит от объёма и разнообразия обучающих данных: исторических записей о показах, кликах, покупках и атрибутах пользователей [1]. Однако индустрия рекламных технологий сталкивается с нарастающим давлением трёх факторов, ограничивающих доступ к реальным данным.

Во-первых, ужесточение регуляторных требований. Вступление в силу GDPR, CCPA и аналогичных законов создало «trade-off между приватностью и полезностью данных»: чем строже анонимизация, тем ниже аналитическая ценность датасетов [2]. Во-вторых, технологическая трансформация: отказ браузеров от сторонних cookies (Safari, Firefox, Google Chrome через Privacy Sandbox) ликвидирует основной механизм индивидуального трекинга, на котором строились рекламные модели последнего десятилетия [3]. В-третьих, дефицит данных по редким, но коммерчески значимым событиям: конверсии составляют 1–3% от кликов, а «cold start» для новых товаров и аудиторий создаёт критический дисбаланс в обучающих выборках [4].

Синтетические данные – искусственно сгенерированные наборы, имитирующие статистические свойства реальных данных без привязки к конкретным пользователям – рассматриваются как перспективное решение этих проблем. По данным Gartner, синтетические данные будут составлять около 75% данных, используемых в AI-проектах, к 2026 году [5]. Рынок генерации синтетических данных оценивается в $267 млн (2023) с прогнозом роста до $4,6 млрд к 2032 году и CAGR 36,3% [6]. Всемирный экономический форум (WEF) в отчёте «Synthetic Data: The New Data Frontier» (2025) признал синтетические данные критически важной технологией для инноваций, подчеркнув необходимость гибридных подходов, комбинирующих синтетические и реальные данные [7].

В предшествующей работе авторов [8] было установлено, что reasoning-модели (Gemini 2.0 Flash Thinking, DeepSeek-R1) демонстрируют «коллапс креативности» при высокой сложности маркетинговых задач. Параллельно исследование Apple «The Illusion of Thinking» [9] выявило аналогичный «model collapse» в reasoning-моделях. В данной статье исследуется смежный, но отличный феномен – model collapse при обучении рекламных моделей на синтетических данных, – а также разрабатываются рекомендации по его предотвращению.

Основная часть. Синтетические данные – это искусственно созданная информация, генерируемая с помощью алгоритмов машинного обучения для имитации статистических распределений и корреляций реальных данных. В отличие от анонимизированных данных, синтетические данные не содержат персональной информации и не могут быть сопоставлены с конкретными пользователями, что выводит их за рамки действия GDPR [2]. Испанское агентство защиты данных (AEPD) классифицирует синтетические данные как технологию повышения приватности (PET), реализующую принцип «protection by design» [3].

В контексте рекламных моделей ключевыми методами генерации синтетических данных являются три класса архитектур: генеративно-состязательные сети (GAN), вариационные автокодировщики (VAE) и диффузионные модели. Их сравнительная характеристика представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Методы генерации синтетических данных для рекламных моделей

Метод	Принцип	Достоинства	Недостатки
CTGAN	Состязательное обучение генератора и дискриминатора с условной генерацией	Лучшее качество для табличных данных; открытый код [6]	Нестабильность обучения; mode collapse
TVAE	Кодировщик сжимает данные в латентное пространство	Стабильное обучение; интерполяция	Менее чёткие границы распределений
Диффузионные модели	Последовательное зашумление и обратная денойзизация	Высокое качество; разнообразие	Высокая вычислительная стоимость

Применение синтетических данных в рекламе включает: аугментацию CTR-логов для балансировки классов, восполнение данных при cold start, privacy-preserving обучение без персональных данных. Для экспериментальной оценки использован набор Criteo [7] и три сценария обучения (таблица 2).

Таблица 2 – Результаты экспериментов

Сценарий	Описание	AUC	Δ AUC
Baseline	100% реальных данных	0,7892	–
Гибридный	80% реальных + 20% CTGAN	0,8124	+2,9%
Полностью синтетический	100% CTGAN-данных	0,7214	–8,6%

Гибридный подход (+2,9% AUC) подтверждает эффективность аугментации синтетическими негативными примерами [3]. Полная замена реальных данных приводит к model collapse (–8,6% AUC): «хвосты» распределения исчезают, модель «забывает» реальные паттерны [8]. Seddik et al. [9] доказали, что collapse предотвратим при смешивании реальных и синтетических данных. Данный эффект родственен «коллапсу креативности» reasoning-моделей [5] и «коллапсу рассуждений» LRM [10].

Для обеспечения приватности применяется дифференциальная приватность (DP-SGD): к градиентам генератора добавляется калиброванный шум с бюджетом ε [11]. Google использует данный подход в Privacy Sandbox Topics API [12]. Рекомендации: пропорция синтетических данных не более 20–30%; валидация на реальных тестовых выборках; применение DP-SGD при работе с персональными данными; цикл «генерация → фильтрация → обучение → оценка» с human-in-the-loop [13].

Заключение. Выполнен анализ методов генерации синтетических данных (CTGAN, TVAE, диффузионные модели) и их применимости для обучения рекламных моделей в электронной коммерции. Установлено, что синтетические данные решают три фундаментальные проблемы рекламных технологий: регуляторные ограничения (GDPR, CCPA), отказ от cookies и дефицит данных по редким событиям.

Экспериментально подтверждено, что гибридный подход (80% реальных + 20% синтетических данных) обеспечивает повышение AUC на 2,9% за счёт балансировки классов

и расширения покрытия редких комбинаций признаков. Вместе с тем полная замена реальных данных синтетическими приводит к model collapse (–8,6% AUC) – утрате «хвостов» распределения и деградации разнообразия предсказаний. Данный эффект представляет собой форму «информационного коллапса», родственную «коллапсу креативности» reasoning-моделей, выявленному авторами ранее [8], и «коллапсу рассуждений» LRM, описанному Apple [9].

Предложены практические рекомендации, включающие оптимальное соотношение реальных и синтетических данных, применение дифференциальной приватности, валидацию на реальных тестовых выборках и интеграцию человеческого контроля (human-in-the-loop) в цикл генерации. Результаты работы могут быть использованы при проектировании пайплайнов обучения рекламных моделей на маркетплейсах, при разработке privacy-preserving стратегий таргетирования и в учебном процессе подготовки специалистов по AI-маркетингу.

Список литературы

1. *Cairo, M. Synthetic Data and GDPR Compliance / M. Cairo // Journal of Technology Law & Policy. – 2023. – Vol. 28, Iss. 1.*
2. *From trace to model: how synthetic data is transforming digital privacy / ECIJA [Electronic resource]. – 2026. – Mode of access: https://www.ecija.com.*
3. *Taskin, F.C. Effects of Using Synthetic Data on Deep Recommender Models' Performance / F.C. Taskin [et al.] // arXiv:2406.18286. – 2024.*
4. *Cogent Infotech. Synthetic Data Explosion: How 2026 Reduces Data Costs by 70% [Electronic resource]. – 2025. – Mode of access: https://www.cogentinfo.com.*
5. *Пискун, Е.С. Ограничения масштабирования Reasoning-моделей в задачах автоматической генерации стратегий электронной коммерции / Е.С. Пискун, Д.В. Нуансенгси // Веснік ГрДУ. – 2025. – Т. 15, № 3.*
6. *Xu, L. Modeling Tabular Data using Conditional GAN / L. Xu [et al.] // NeurIPS 2019. – arXiv:1907.00503.*
7. *Shaped AI. Criteo Dataset: Tackling Large-Scale CTR Prediction [Electronic resource]. – 2025. – Mode of access: https://shaped.ai.*
8. *Shumailov, I. AI models collapse when trained on recursively generated data / I. Shumailov [et al.] // Nature. – 2024. – Vol. 631.*
9. *Seddik, M. How Bad is Training on Synthetic Data? / M. Seddik [et al.] // arXiv:2404.05090. – 2024.*
10. *Shojaee, P. The Illusion of Thinking / P. Shojaee [et al.] // Apple. – 2025.*
11. *Chivukula, V. Use of Differential Privacy to Enable Optimization of Ads / V. Chivukula // IJIRCT. – 2022. – Vol. 8, Iss. 5.*
12. *Differentially Private Synthetic Data Release for Topics API Outputs // arXiv:2506.23855. – 2025.*
13. *WEF. Synthetic Data: The New Data Frontier / World Economic Forum. – 2025.*

UDC 004.8:339.1

SYNTHETIC DATA FOR TRAINING ADVERTISING MODELS IN E-COMMERCE: GENERATION METHODS, PRIVACY, AND LIMITATIONS

Nuansengsy D.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Piskun G.A. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. Methods of synthetic data generation (CTGAN, TVAE, diffusion models) for training advertising CTR models in e-commerce are investigated. It is established that augmentation with synthetic samples improves AUC by 2.9%, while complete replacement leads to model collapse (–8.6% AUC). The necessity of a hybrid approach with differential privacy is substantiated.

Keywords: synthetic data, CTGAN, CTR prediction, e-commerce, differential privacy, model collapse, data augmentation.

УДК 621.382.019.3

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАДЁЖНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ ПО ИНФОРМАТИВНЫМ ПАРАМЕТРАМ МЕТОДОМ ПОРОГОВОЙ ЛОГИКИ

Романович С.А., Сурков В.Д., Тихонович А.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Боровиков С.М. – к. т. н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. Обсуждается подход к индивидуальному прогнозированию класса надёжности изделий электронной техники для заданной наработки по значениям информативных параметров прогнозируемого экземпляра. Известные методы прогнозирования требуют сложных вычислений по определению прогнозирующей функции для каждого экземпляра. В качестве альтернативы может использоваться метод пороговой логики, основанный на преобразовании значений информативных параметров в двоичный код и принятии решения о классе надёжности прогнозируемого экземпляра по логической таблице без проведения вычислений.

Ключевые слова: прогнозирование, надёжность, информативные параметры, пороговая логика.

Введение. Известные методы индивидуального прогнозирования по информативным параметрам (кратко – признакам), такие как методы статистических решений и потенциальных функций [1] при числе признаков $k > 2$ перед принятием решения о классе надёжности каждого экземпляра для заданной наработки (K_1 – класс надёжных, K_2 – класс потенциально ненадёжных экземпляров) предполагают выполнение сложных математических вычислений по определению прогнозирующей функции, по значению которой принимают решение о классе надёжности прогнозируемого экземпляра. Необходимость выполнения вычислений ограничивает внедрение этих методов в производственную деятельность предприятий. Использование методов в условиях производства целесообразно лишь на основе применения вычислительной техники. Другие же, более простые методы, во многих случаях не позволяют достичь допустимых ошибок прогнозирования. Актуальной является задача разработки и внедрения простых методов, но обеспечивающих достаточную достоверность прогнозирования.

Основная часть. Простым и в то же время эффективным является метод индивидуального прогнозирования, основанный на принципах пороговой логики [1, 2].

Суть метода пороговой логики состоит в преобразовании значений признаков, полученных при измерении для *j*-го экземпляра, в двоичный код (единица или нуль) и принятии решения о классе надёжности этого экземпляра по набору (комбинации) двоичных чисел. При k признаках, используемых для прогнозирования, количество всех возможных наборов T, построенных из двоичных чисел, определяется выражением $T = 2^k$. Поэтому прогнозирующее правило для этого метода может быть представлено простой логической таблицей с числом строк не более T. Таблица может использоваться непосредственно в наглядной форме или храниться в запоминающих устройствах.

Преобразование значений признаков $x_1, \ldots, x_k$ в двоичные числа $z_1, \ldots, z_k$, называемые далее сигналами, выполняется по соотношениям [1, 2]

$$\left.\begin{array}{l} z_i = 1, \text{ если } x_i \geq x_{i0} \\ z_i = 0, \text{ если } x_i < x_{i0} \end{array}\right\} \text{ при } m_{i1} > m_{i2}; \qquad (1)$$

$$\left.\begin{array}{l} z_i = 1, \text{ если } x_i \le x_{i0} \\ z_i = 0, \text{ если } x_i > x_{i0} \end{array}\right\} \text{ при } m_{i1} < m_{i2}, \qquad (2)$$

где x_{i0} – пороговое значение i-го признака;

m_{is} – среднее значение i-го признака в начальный момент времени для экземпляров класса надёжности K_s (S = 1; 2).

Прогнозирующее правило для данного метода прогнозирования задаётся соотношением

$$R = \begin{cases} 1, \text{ если } \sum_{i=1}^{k} \alpha(z_i) \ge P_0; \\ 0, \text{ если } \sum_{i=1}^{k} \alpha(z_i) < P_0, \end{cases} \qquad (3)$$

где R – выходной двоичный сигнал (пороговая функция), равный единице для класса надёжных экземпляров (K_1) и нулю – для класса потенциально ненадёжных экземпляров (K_2);

$\alpha(z_i)$ – вес i-го двоичного сигнала, выбираемый в зависимости от того, какое значение (единица или нуль) принял i-й признак по результатам применения условий (1) или (2);

P_0 – порог (критерий) разделения классов, вещественное число.

Вес $\alpha(z_i)$ i-го двоичного сигнала характеризует ценность сигнала z_i для процедуры прогнозирования и определяется соотношением [1]

$$\alpha(z_i) = \begin{cases} P(K_1 \mid z_i = 1), \text{ если } z_i = 1; \\ P(K_1 \mid z_i = 0), \text{ если } z_i = 0, \end{cases} \qquad (4)$$

где $P(K_1 \mid z_i = \xi)$ – оценка вероятности того, что ИЭТ принадлежит к классу K_1 при условии, что двоичный сигнал z_i принял значение $z^i = \xi$; $\xi =$ 1, 0.

Оценку вероятностей $P(K_1 \mid z_i = 1)$ и $P(K_1 \mid z_i = 0)$ получают по результатам испытаний экземпляров обучающей выборки, используя следующие выражения:

$$P(K_1 \mid z_i = 1) = \frac{n(K_1 \mid z_i = 1)}{n(z_i = 1)}; \qquad (5)$$

$$P(K_1 \mid z_i = 0) = \frac{n(K_1 \mid z_i = 0)}{n(z_i = 0)}, \qquad (6)$$

где $n(K_1 \mid z_i = \xi)$ – количество экземпляров класса K_1 в обучающей выборке, для которых двоичный сигнал z^i принял значение $z^i = \xi$; $\xi =$ 1, 0;

$n(z_i = \xi)$ – общее количество экземпляров в обучающей выборке, для которых двоичный сигнал z^i принял значение $z^i = \xi$; $\xi =$ 1; 0.

Для определения порогового значения i-го признака можно использовать способ, состоящий в выборе в качестве значения x_{i0} средней точки между средними значениями

(математическими ожиданиями) m_1 и m_2 признака x_i, соответствующими классам надёжности K_1 и K_2 для экземпляров обучающей выборки в начальный момент времени [1, 2].

Преобразование признаков $x_1, \ldots, x_k$ экземпляров обучающей выборки в двоичные сигналы $z_1, \ldots, z_k$ выполняется по выражениям (1) или (2).

Для определения веса $\alpha(z_i)$ i-го двоичного сигнала с учётом выбранного порогового значения x_{i0} подсчитываются по соотношениям (5) и (6) оценки вероятностей $P(K_1 \mid z_i = 1)$ и $P(K_1 \mid z_i = 0)$. Они в соответствии с выражением (4) принимаются в качестве веса $\alpha(z_i)$.

Значение прогнозирующей функции $F\left(z_1^{(j)}, \ldots, z_k^{(j)}\right)$, соответствующее j-му экземпляру обучающей выборки, определяется по формуле [1–4]

$$F\left(z_1^{(j)},\ldots,z_k^{(j)}\right)=\sum_{i=1}^{k}\alpha\left(z_i^{(j)}\right), \tag{7}$$

где $\alpha\left(z_i^{(j)}\right)$ – значение веса i-го двоичного сигнала z_i, соответствующее j-му экземпляру обучающей выборки.

Для оценки вероятности принятия правильных решений используют выражение

$$P_{\text{прав}} = \frac{n_{11} + n_{22}}{n}, \tag{8}$$

где n_{11}, n_{22} – количество правильно распознанных экземпляров соответственно классов надёжности K_1 и K_2 в обучающей выборке;

n – объём обучающей выборки.

Для определения порога разделения классов P_0 задаются несколькими точками из области определения прогнозирующей функции $F\left(z_1^{(j)}, \ldots, z_k^{(j)}\right)$ для изделий обучающей выборки. Для каждой выбранной точки, пользуясь правилом, задаваемым соотношением (3), подсчитывают по формуле (8) вероятность принятия правильных решений $P_{\text{прав}}$. В качестве искомого порога разделения классов P_0 принимают значение, которое отвечает условию

$$P_{\text{прав}} \to \max.$$

Представление прогнозирующего правила логической таблицей, используемой для прогнозирования, осуществляется следующим образом [1]. Для всех теоретически возможных наборов двоичных сигналов z^1, z^2, …, z^k подсчитываются по выражению (7) значения прогнозирующей функции $F\left(z_1^{(j)}, \ldots, z_k^{(j)}\right)$. Используя построенное прогнозирующее правило вида (3), определяют, какому классу соответствует тот или иной набор двоичных сигналов.

Заключение. Метод позволяет существенно упростить процедуру прогнозирования однотипных экземпляров, не участвовавших в обучающем эксперименте, за счёт преобразования значений признаков в двоичный код и использования наглядных логических таблиц. Значимость работы состоит в возможности индивидуального прогнозирования класса надёжности ИЭТ без выполнения вычислений прогнозирующей функции.

Список литературы

1. *Боровиков С.М. Статистическое прогнозирование для отбраковки потенциально ненадёжных изделий электронной техники. – М. : Новое знание, 2013. – 343 с.*
2. *Метод прогнозирования надёжности изделий электронной техники / С.М. Боровиков, А.В. Емельянов, А.А. Хмыль, А.И. Бересневич // Доклады НАН Беларуси. – 2006. – Т. 50, № 4. – С. 105–109.*
3. *Прогнозирование класса надёжности изделий электронной техники методом преобразования информативных параметров в дискретный код / В.О. Казючиц, С.М. Боровиков, М.П. Батура, Е.Н. Шнейдеров // Доклады ТУСУР. – 2023. – Т. 26, № 1. – С. 91–97. DOI: 10.21293/1818-0442-2023-26-1-91-97.*
4. *Казючиц В.О., Боровиков С.М., Шнейдеров Е.Н. Эвристическая модель прогнозирования работоспособности полупроводниковых приборов // Доклады БГУИР. – 2022. – Т. 20, № 1. – С. 92–100.*

UDC 621.382.019.3

PREDICTING THE RELIABILITY OF ELECTRONIC PRODUCTS BASED ON INFORMATION PARAMETERS USING THE THRESHOLD LOGIC METHOD

Romanovich S.A. Surkov V.D., Tikhonovich A.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Borovikov S.M. – Cand. of Sci., Associate Professor, Associate Professor of the Department of ICSD

Annotation. This article discusses an approach to individually predicting the reliability class of electronic products for a given operating life based on the values of the predicted component's informative parameters. Known prediction methods require complex calculations to determine the predictive function for each component. Alternatively, a threshold logic method can be used, based on converting the informative parameter values into binary code and making a decision on the predicted component's reliability class based on a logic table without performing calculations.

Keywords: forecasting, reliability, informative parameters, threshold logic.

УДК 004.9:005.7

RSVP В ОРГАНИЗАЦИИ КОРПОРАТИВНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ: ВЛИЯНИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЛАНИРОВАНИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА

Цымбал Н.О.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Верхов К.А. – ассистент кафедры ПИКС

Аннотация. Рассмотрено применение функции *RSVP* для управления участием в корпоративных мероприятиях. Предложены показатели эффективности планирования и модель прогнозирования явки на основе ответов участников. Сформулированы направления развития программного средства: напоминания, управление вместимостью, интеграции с корпоративными сервисами, аналитика и меры защиты персональных данных.

Ключевые слова: *RSVP*, корпоративные мероприятия, планирование, подтверждение участия, прогноз явки, напоминания, вместимость, аналитика

Введение. Корпоративные мероприятия характеризуются переменными затратами, зависящими от числа участников, и ограничениями по вместимости площадки. При отсутствии подтверждений участие сотрудников оценивается приближённо, что повышает риск перерасхода ресурсов либо дефицита мест и сервисов. Функция *RSVP* как запрос ответа на приглашение обеспечивает сбор статусов участия и формирует данные для управляемого планирования мероприятия [1].

Основная часть. Механизм *RSVP* задаётся в формате *iCalendar* как параметр приглашения, указывающий ожидаемость ответа приглашённого, а обмен ответами и изменениями события между организатором и участниками описывается протоколом *iTIP* [2]. Наличие стандартизированного обмена позволяет строить программное средство как надстройку над корпоративными календарями: участникам не требуется отдельный канал для подтверждения, а организатор получает согласованные статусы в карточке события и может отслеживать ответы участников [3].

Для оценки влияния *RSVP* на эффективность планирования предложен набор показателей, согласованный с практикой подготовки корпоративных событий:

– доля ответов до дедлайна подтверждения;

– точность прогноза явки;

– доля неявки среди подтвердивших участие;

– трудоёмкость подготовки, выраженная временем на сбор и актуализацию списков приглашённых.

Прогнозирование явки на основе *RSVP* целесообразно выполнять по модели, использующей агрегированные статусы ответов. Ожидаемое число участников определяется выражением:

$$N_{\text{подтв}} + k \cdot N_{\text{предв}} + m \cdot N_{\text{без ответа}}, \quad (1)$$

где $N_{подтв}$ – число подтвердивших участие;

$N_{предв}$ – число участников с предварительным согласием;

$N_{без_ответа}$ – число приглашённых без ответа к моменту расчёт.

Коэффициенты k и m оцениваются по истории мероприятий как средняя доля фактической явки для соответствующих групп. Точность прогнозирования фиксируется относительной ошибкой:

$$\varepsilon = \frac{\left|N_{факт} - N_{\text{прогн}}\right|}{N_{факт}} \times 100\%, \quad (2)$$

Показатели обеспечивают измеримую связь между статусами *RSVP* и планируемыми ресурсами: при поступлении новых ответов пересчитываются $N_{\text{прогн}}$ и ε, что позволяет корректировать закупки, резерв мест и объём сервисов без ручных пересчётов.

Снижение неявки и рост доли ответов до дедлайна достигаются автоматизацией коммуникаций. Для *RSVP*-решения критичны сценарии напоминаний: начальное уведомление, напоминание перед дедлайном, повторная верификация участия перед датой проведения. Экспериментальные исследования по *SMS*-напоминаниям показывают, что корректное содержание сообщений уменьшает долю пропусков без дополнительных затрат на организацию процесса [4]. В корпоративном контуре данный вывод переносится на уведомления электронной почты и корпоративных мессенджеров: напоминания направляются только неответившим либо изменившим решение, а частота и сроки задаются политикой организации.

Для мероприятий с ограниченной вместимостью *RSVP* должен быть связан с управлением лимитами и очередью. Практика использования листа ожидания в системах управления событиями предусматривает фиксацию заявок сверх лимита и предоставление мест при освобождении ресурсов [5]. На этой основе в программном средстве предлагается поддержка состояния «лист ожидания» и правил замены: переход из очереди в список участников выполняется автоматически после отказа либо отмены участия. Дополнительно фиксируется фактическое присутствие участника на мероприятии, что связывает «ответ» и »результат» и повышает качество оценок коэффициентов *k* и *m*.

Важным направлением развития является интеграция *RSVP*-модуля с корпоративной инфраструктурой. Синхронизация с календарём обеспечивает единый жизненный цикл приглашения и ответа [2], а также гарантирует доступность статусов участия организатору и участникам в привычной среде [3]. Интеграция со справочником сотрудников позволяет поддерживать актуальный состав приглашённых и сегментацию по подразделениям и ролям, а единая аутентификация снижает риск несанкционированного доступа к ответам. Экспорт и импорт приглашений на базе *iCalendar* повышают совместимость при взаимодействии с внешними календарными системами [1].

На основе накопленных данных *RSVP* и фактической явки формируется аналитика: динамика ответов по времени, значения коэффициентов *k* и *m*, причины отказов, распределение ошибки *ε*. Для повторяющихся форматов корпоративных мероприятий аналитика может быть дополнена методами машинного обучения. Публикации по прогнозированию посещаемости событий демонстрируют применимость *ML*-моделей для повышения точности прогнозов при большом числе решений «прийти/не прийти» и наличии истории наблюдений [6]. В корпоративном программном средстве целесообразен двухуровневый подход: базовый прогноз по формуле (1) и уточнение прогноза для критичных по стоимости ошибок мероприятий при накоплении достаточного массива данных.

Отдельно учитывается конфиденциальность: статусы участия и история уведомлений относятся к персональным данным, поскольку связаны с идентифицируемым сотрудником. Закон Республики Беларусь № 99-З устанавливает требования законности и соразмерности обработки персональных данных, а также обязанности по обеспечению их защиты [7]. Для *RSVP*-системы это означает разграничение прав доступа, журналирование действий, минимизацию собираемых атрибутов, регламент сроков хранения статистики и возможность обезличивания данных после завершения мероприятия при отсутствии оснований для дальнейшего хранения.

Таблица 1 – Направления модернизации *RSVP*-модуля и влияние на показатели планирования

Направление	Реализация в ПО	Влияние на метрики	Приоритет
Дедлайны и напоминания	Сценарии уведомлений, правила адресации	Рост доли ответов, снижение неявки	Высокий
Расширенная модель статусов	История изменений, отметка присутствия	Снижение ε, уточнение k и m	Высокий
Управление вместимостью	Лимиты мест, лист ожидания, замены	Заполнение мест, снижение отказов	Высокий
Интеграции	Календарь, справочник сотрудников, *SSO*	Сокращение времени подготовки	Средний

Заключение. *RSVP* как механизм подтверждения участия снижает неопределённость планирования корпоративных мероприятий за счёт стандартизированного сбора ответов и интеграции с календарной инфраструктурой [1]. Предложенные показатели эффективности и модель прогнозирования явки, а также направления развития программного средства обеспечивают измеримый контур управления участием: повышение доли ответов, снижение ошибки прогноза, сокращение трудозатрат и соблюдение требований к защите персональных данных [7].

Список литературы

1. *RFC 5545: Internet Calendaring and Scheduling Core Object Specification (iCalendar). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc5545 – Дата доступа: 05.03.2026.*
2. *RFC 5546: iCalendar Transport-Independent Interoperability Protocol (iTIP). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc5546 – Дата доступа: 05.03.2026.*
3. *Attendees can see others' responses to a meeting invitation. Microsoft Support. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://support.microsoft.com/en-us/office/attendees-can-see-others-responses-to-a-meeting-invitation-f51437e5-352c-4223-b7d8-7020cd71f3c8 – Дата доступа: 05.03.2026.*
4. *Hallsworth M., Berry D., Sanders M. et al. Stating Appointment Costs in SMS Reminders Reduces Missed Hospital Appointments: Findings from Two Randomised Controlled Trials // PLOS ONE. 2015. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0137306 – Дата доступа: 05.03.2026.*
5. *How to set up an event waitlist. Eventbrite Help Center. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.eventbrite.com/help/en-us/articles/811539/how-to-set-up-an-event-waitlist/ – Дата доступа: 05.03.2026.*
6. *Nguyen J. K., Karg A., Valadkhani A., McDonald H. Predicting individual event attendance with machine learning // Applied Economics. 2022. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ideas.repec.org/a/taf/applec/v54y2022i27p3138-3153.html – Дата доступа: 05.03.2026.*
7. *О защите персональных данных: Закон Республики Беларусь от 07.05.2021 № 99-З. Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=H12100099 – Дата доступа: 05.03.2026.*

UDC 004.9:005.7

RSVP IN CORPORATE EVENT MANAGEMENT: IMPACT ON PLANNING EFFICIENCY AND DIRECTIONS FOR SOFTWARE DEVELOPMENT

Tsymbal N.O.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Verkhov K.A. – assistant of the department of ICSD

Annotation. The RSVP function is considered as a mechanism for participation management in corporate events. Planning efficiency metrics and an attendance forecasting model based on participants' responses are proposed. Key software development directions are formulated, including reminders, capacity management, integration with corporate services, analytics, and personal data protection measures.

Keywords: RSVP, corporate events, planning, participation confirmation, attendance forecast, reminders, capacity, analytics

УДК 004.932:004.75

ОПТИМИЗАЦИЯ ОБЛАЧНЫХ ХРАНИЛИЩ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМОВ ДЕДУПЛИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Вегера К.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Марков А.Н. – магистр технических наук, старший преподаватель кафедры информатики

Аннотация. Работа посвящена проблеме избыточности данных в облачных сервисах хранения медиаконтента. Предложена архитектура программного комплекса, реализующего механизм дедупликации изображений на основе перцептивного хеширования (dHash). Описан алгоритм взаимодействия клиентской части, базы данных PostgreSQL и объектного хранилища, позволяющий исключить повторную запись визуально идентичных файлов. Приведена методика оценки эффективности сжатия хранилища.

Ключевые слова: облачные вычисления, дедупликация, архитектура ПО, PostgreSQL, оптимизация ресурсов, dHash.

Введение. Современные IT-инфраструктуры сталкиваются с экспоненциальным ростом объемов неструктурированных данных. По статистике, значительную долю дискового пространства занимают дубликаты изображений [1], возникающие при пересылке контента, резервном копировании или незначительном изменении форматов. Классификация моделей облачных вычислений [2] позволяет выделить специализированные сервисы хранения как критически важный компонент IaaS. Традиционные методы дедупликации, основанные на криптографических хешах (MD5, SHA-256), неэффективны для медиаконтента, так как изменение разрешения или метаданных файла приводит к изменению хеш-суммы, что вынуждает систему хранить идентичные по содержанию копии.

Целью работы является проектирование архитектуры облачного сервиса, обеспечивающего минимизацию затрат на хранение данных (IaaS) за счет выявления и исключения нечетких дубликатов.

Методика и алгоритмы. Для решения задачи предложено использование методики дедупликации на стороне сервера (target-based deduplication) с использованием перцептивных хешей. В качестве базового алгоритма выбран Difference Hash (dHash) [3], который формирует цифровой отпечаток изображения на основе градиентов яркости между соседними пикселями. Процесс генерации хеша dHash состоит из четырех последовательных этапов, каждый из которых направлен на удаление избыточной информации (шума, детализации, цвета):

1. Масштабирование (Resizing). Изображение сжимается до размера 9x8 пикселей (всего 72 пикселя). Использование нечетного количества столбцов (9) необходимо для обеспечения перекрытия при вычислении разницы между соседними точками.

2. Обесцвечивание. Изображение преобразуется в оттенки серого, что позволяет абстрагироваться от цветовой гаммы и сосредоточиться только на структурной информации (форме объектов).

3. Вычисление разницы. Для каждой строки пикселей y вычисляется разница яркости между пикселем x и $x + 1$ пикселем.

4. Построение битовой строки. Если яркость пикселя $P(x) > P(x + 1)$, то бит хеша равен 1, иначе – 0. В результате формируется 64-битное число (8x8), которое является компактным цифровым следом изображения.

Выбор dHash обусловлен его устойчивостью к масштабированию изображения и высокой скоростью генерации (менее 6 мс на изображение), что критически важно для высоконагруженных систем. Критерием идентичности изображений служит расстояние Хэмминга (d_H). Если $d_H \leq 5$, изображения считаются визуальными копиями.

Архитектура системы. Разработанное решение базируется на принципе разделения метаданных и бинарных данных (Blob). Логическая схема хранения реализуется с использованием СУБД PostgreSQL и S3-совместимого хранилища. Процесс загрузки файла включает следующие этапы:

1. Генерация отпечатка. Сервис принимает изображение и вычисляет его перцептивный хеш (64-битное число).

2. Поиск в индексе. Выполняется запрос к таблице images_hash в БД PostgreSQL. Благодаря использованию специализированных индексов (GIST/SP-GIST для битовых строк), поиск похожих хешей выполняется за логарифмическое время. Для хранения 64-битных хешей в PostgreSQL используется тип данных bit(64), который позволяет выполнять побитовые операции непосредственно на уровне СУБД, минимизируя передачу данных между приложением и базой. Расстояние Хэмминга между двумя хешами A и B вычисляется как количество единичных битов в результате операции XOR ($A \oplus B$). Для оптимизации выборки на больших объемах данных (миллионы записей) стандартный B-tree индекс неэффективен. Вместо него предлагается использовать специализированные BK-деревья (Burkhard-Keller trees), которые позволяют эффективно отсекать ветви дерева поиска, где расстояние заведомо превышает заданный порог ($threshold$). Это снижает сложность поиска с линейной $O(N)$ до логарифмической $O(\log_2 N)$.

3. Принятие решения. Сценарий А (дубликат найден): если в БД найден хеш с $d_H \leq treshold$, физическая загрузка файла в S3 отменяется. В таблице user_files создается новая запись, ссылающаяся на уже существующий file_id. Счетчик ссылок (reference count) для оригинала увеличивается. Сценарий Б (уникальный контент): Файл загружается в S3, ему присваивается уникальный ID, а хеш сохраняется в индексе.

Графически алгоритм работы подсистемы представлен на рисунке 1:

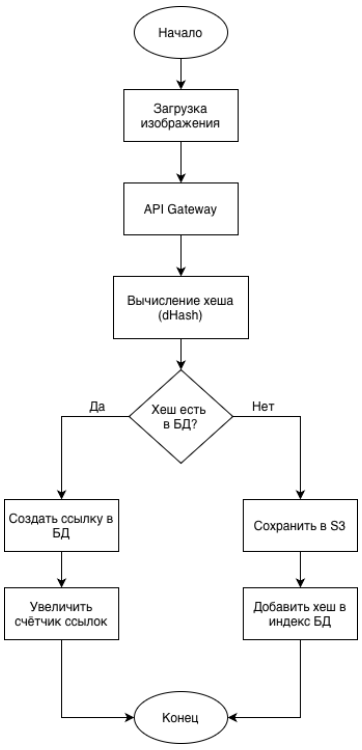


Рисунок 1 – Алгоритм работы подсистемы дедупликации при загрузке данных

Такой подход реализует модель Content-Addressable Storage (CAS), где адресация контента происходит на основе его содержимого, а не имени файла.

Обработка коллизий. При использовании 64-битного хеширования теоретически возможны коллизии, когда разные изображения имеют одинаковый dHash (особенно при сильном размытии или монотонном фоне). Вероятность такого события для фотографий

крайне мала (2^{-64}), однако для повышения надежности системы в архитектуру введен механизм верификации. В случае обнаружения дубликата (расстояние Хэмминга равно 0) система выполняет дополнительную проверку: сравнивает размеры файлов (в байтах) и, при необходимости, вычисляет быстрый криптографический хеш (CRC32) для первых 4 КБ файла. Это позволяет с вероятностью, близкой к 100%, исключить ложные срабатывания (False Positives), не прибегая к полному побитовому сравнению файлов.

Оценка эффективности. Эффективность предлагаемой архитектуры оценивается коэффициентом дедупликации (K_{dedup}), который показывает отношение логического объема данных к физическому, и рассчитывается по формуле 1:

$$K_{dedup} = \frac{V_{logical}}{V_{physical}} = \frac{\sum_{i=1}^{N} Size(f_i)}{Size(Unique) + Size(Meta)}, \quad (1)$$

где $V_{logical}$ – суммарный объем файлов, загруженных пользователями, ГБ;

$V_{physical}$ – реально занимаемое место на дисках, ГБ.

Предварительное моделирование на тестовой выборке из 10 000 изображений (включая ресайзы и пересохранения) показало, что внедрение данного алгоритма позволяет достичь коэффициента $K_{dedup} \approx 1.6$, что эквивалентно экономии 30–45% дискового пространства.

Заключение. Предложена архитектура облачного сервиса хранения, использующая алгоритм dHash для оптимизации использования ресурсов. Переход от прямого хранения файлов к системе ссылок на уникальные контентные единицы позволяет существенно снизить требования к инфраструктуре хранения (IaaS) и уменьшить избыточный сетевой трафик, не снижая качество обслуживания пользователей.

Список литературы

1. *Армбруст М. Облачные вычисления: взгляд сверху // Коммуникации АСМ. – 2010. – Т. 53, № 4.*
2. *Вакеро Л. М. Определение и классификация облачных вычислений // Вестн. информатики. – 2011. – Т. 28.*
3. *Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2012.*

UDC 004.932:004.75

OPTIMIZATION OF CLOUD DATA STORAGE USING IMAGE DEDUPLICATION ALGORITHMS

Viahera K.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Markov A.N. – Master of Sci. (M. of Sci.), Senior Lecturer at the Department of Informatics

Annotation. The paper considers the problem of data redundancy in cloud media storage services. An architecture of a software complex implementing an image deduplication mechanism based on perceptual hashing (dHash) is proposed. The interaction algorithm between the client part, PostgreSQL database, and object storage, allowing to exclude re-recording of visually identical files, is described. A methodology for assessing storage compression efficiency is presented.

Keywords: cloud computing, deduplication, software architecture, PostgreSQL, resource optimization, dHash.

УДК 621.3.019.3

СРАВНЕНИЕ МЕТОДА ПОЛНОГО ПЕРЕБОРА СОСТОЯНИЙ И МЕТОДА СВЕРТКИ ПРИ ОЦЕНКЕ НАДЁЖНОСТИ РЕЗЕРВИРУЕМОГО УЗЛА СО СМЕШАННЫМ СОЕДИНЕНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ

Зацепина М.И., Силенкова Д.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Боровиков С.М. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. Эталонное значение получено методом полного перебора 81 возможной комбинации состояний элементов с учетом отказов по типу обрыва и короткого замыкания. Результат сопоставлен с расчетом, выполненным методом свертки по правилам последовательного и параллельного соединения. Совпадение полученных значений вероятности безотказной работы подтверждает практическую применимость метода свертки при анализе резервируемых узлов.

Ключевые слова: надежность, резервирование, смешанное соединение, обрыв, короткое замыкание, модель с тремя состояниями, метод свертки, полный перебор состояний.

Введение. При анализе надёжности резервируемых электронных узлов существенное влияние на результат оказывают структура соединения элементов и характер их отказов. Для элементов, у которых вероятности отказов по типу обрыва и короткого замыкания сопоставимы, широко применяются смешанные последовательно-параллельные схемы. Для таких структур применяются различные методы расчета вероятности безотказной работы, отличающиеся вычислительной сложностью. В настоящей работе выполняется сравнение метода полного перебора состояний и метода свертки на примере двух схем резервируемого узла с одинаковыми исходными параметрами.

Основная часть. Рассматривается резервируемый узел, состоящий из четырёх одинаковых элементов, соединенных по смешанной последовательно-параллельной схеме. Электрические схемы исследуемых вариантов приведены на рисунке 1.

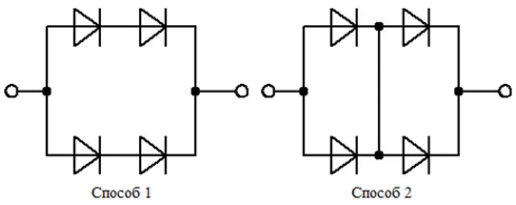


Рисунок 1 – Схемы резервируемого узла: способ 1 – последовательно-параллельная схема; способ 2 – параллельно-последовательная схема.

Каждый элемент узла описывается моделью с тремя возможными состояниями: работоспособное состояние, отказ по типу обрыва и отказ по типу короткого замыкания. Для заданного момента времени вероятности состояний элемента удовлетворяют условию нормировки, которое определяется по формуле 1.

$$p + q_{\text{о}} + q_{\text{кз}} = 1 \quad (1)$$

где p – вероятность работоспособного состояния элемента;

$q_{\text{о}}$ – вероятность отказа по типу обрыва;

$q_{\text{кз}}$ – вероятность отказа по типу короткого замыкания.

В работе используются значения p, $q_{\text{о}}$, $q_{\text{кз}}$ приведенные ниже в в таблице 1.

Таблица 1 – Вероятности состояний элемента

Обозначение	**Значение**
p	0,8
$q_{\text{кз}}$	0,1
$q_{\text{о}}$	0,1

В качестве эталонного подхода используется метод полного перебора состояний. Поскольку пространство состояний одного элемента содержит три состояния, для узла из четырех элементов общее число возможных состояний определяется следующим выражением:

$$N = 3^4 = 81. \tag{2}$$

Каждому состоянию узла соответствует комбинация состояний отдельных элементов $\{s_1, s_2, s_3, s_4\}$. Вероятность i-го состояния определяется произведением вероятностей состояний элементов определяется по формуле:

$$P(i) = P(s_1) \cdot P(s_2) \cdot P(s_3) \cdot P(s_4), \tag{3}$$

где $P(S_j)$ – вероятность состояния j-го элемента.

Суммарная вероятность безотказной работы узла определяется выражением:

$$P_\Sigma = \sum_{i \in \Omega_{\text{раб}}} P(i), \tag{4}$$

где $\Omega_{\text{раб}}$ – множество работоспособных состояний узла.

Для исключения ручного перечисления 81 комбинации перебор реализован в виде автоматизированной табличной модели на основе троичного представления номера состояния. Работоспособность состояния определяется логическим условием, соответствующим структуре схемы. По результатам расчетов получено значение $P_\Sigma = 0{,}944$, данное значение далее используется как эталонное.

В качестве альтернативы использует метод свертки до эквивалентного элемента, основанный на последовательной замене участков схемы эквивалентными элементами с сохранением вероятностных характеристик. Для двух последовательно соединенных элементов вероятность короткого замыкания эквивалентного элемента определяется выражением:

$$q_{\text{кз,э}} = q_{\text{кз1}} \cdot q_{\text{кз2}}, \tag{5}$$

где $q_{\text{кз1}}, q_{\text{кз2}}$ – вероятности короткого замыкания первого и второго элементов.

Вероятность отсутствия обрыва при последовательном соединении определяется по формуле:

$$1 - q_{\text{о,э}} = (p_1 + q_{\text{кз1}}) \cdot (p_2 + q_{\text{кз2}}), \tag{6}$$

откуда вероятность отказа по типу обрыва равна:

$$q_{\text{о,э}} = 1 - (p_1 + q_{\text{кз1}}) \cdot (p_2 + q_{\text{кз2}}), \tag{7}$$

Вероятность работоспособного состояния эквивалентного элемента определяется из условия нормировки по формуле (1). Для параллельного соединения вероятность отказа по типу обрыва эквивалентного элемента определяется выражением:

$$q_{\text{о,э}} = q_{\text{о1}} \cdot q_{\text{о2}}, \tag{8}$$

Вероятность короткого замыкания эквивалентного элемента вычисляется по формуле:

$$q_{\text{кз,э}} = 1 - (p_1 + q_{\text{о1}}) \cdot (p_2 + q_{\text{о2}}). \tag{9}$$

Применение указанных соотношений к рассматриваемым схемам со значениями $p = 0{,}8;\ q_o = 0{,}1;\ q_{\text{кз}} = 0{,}1$ приводит к одинаковому итоговому значению вероятности безотказной работы узла $P_\Sigma = 0{,}944$, что полностью совпадает с результатом метода полного перебора. Совпадение результатов объясняется тем, что на каждом этапе свертки сохраняется корректное вероятностное описание эквивалентного элемента, а итоговая величина определяется только структурой соединения и исходными вероятностями состояний.

Заключение. Выполнено сравнение метода полного перебора состояний и метода свёртки при оценке вероятности безотказной работы резервируемого узла со смешанным соединением элементов. Оба подхода дают одинаковый численный результат. Полный перебор обеспечивает эталонную точность, но обладает экспоненциальной сложностью. Метод свёртки эквивалентен по результату и требует значительно меньших вычислительных затрат, поэтому предпочтителен для узлов большой размерности.

Список литературы

1. *Боровиков С.М. Теоретические основы конструирования, технологии и надёжности. – Минск: Дизайн ПРО, 1998. – 336 с.*

2. *Боровиков С.М., Цырельчук И.Н., Троян Ф.Д. Расчёт показателей надёжности радиоэлектронных средств [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://libeldoc.bsuir.by/handle/123456789/25651. Дата доступа: 05.01.2026.*

3. *Надежность в технике. Термины и определения: ГОСТ 27.002-2015 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://meganorm.ru/Data2/1/4293754/4293754027.pdf. Дата доступа: 06.01.2026.*

4. *Надежность в технике. Структурная схема надёжности: ГОСТ Р МЭК 61078-2021 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://meganorm.ru/Data/793/79355.pdf. Дата доступа: 06.01.2026.*

UDC 621.3.019.3

COMPARISON OF COMPLETE STATE ENUMERATION AND CONVOLUTION METHODS FOR RELIABILITY ASSESSMENT OF A REDUNDANT NODE WITH MIXED INTERCONNECTION OF ELEMENTS

Zatsepina M.I., Silenkova D.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Borovikov S.M. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. A reference value is obtained by complete enumeration of 81 possible combinations of element states accounting for open circuit and short circuit failures. The result is compared with a calculation performed using the convolution method based on series and parallel connection rules. The coincidence of the obtained reliability values confirms the applicability of the convolution method for the analysis of more complex redundant structures.

Keywords: reliability, redundancy, mixed interconnection, open circuit, short circuit, three state element model, convolution method, complete state enumeration.

УДК 004.85:004.62

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ И КОРРЕКЦИЯ МУЗЫКАЛЬНОГО ФОНА В ОБЩЕСТВЕННЫХ МЕСТАХ НА ОСНОВЕ ПСИХОАКУСТИЧЕСКИХ ДЕСКРИПТОРОВ И ИНСТРУМЕНТОВ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

Зинковская Е.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Левченя Ж.Б. – к.т.н. доцент кафедры ПИКС

Аннотация. Аргументируется влияние музыкального фона в общественных местах на поведение посетителей, ссылаясь на проведенные эксперименты. Приводится описание инструментов обработки и анализа аудиофайлов, используемых для автоматизированного подбора музыкальных плейлистов.

Ключевые слова: музыкальный фон, аудиофайл, *ffmpeg, librosa,* поведение посетителей, цифровая обработка сигналов, музыкальный анализ

Введение. В условиях высокой конкуренции в сфере услуг музыка рассматривается не только как фон, но и как инструмент управления поведением посетителей. Исследования показывают, что параметры музыкального сопровождения влияют на эмоциональное состояние людей, длительность их пребывания и активность [1]. Отсутствие грамотного подбора музыкального фона может негативно сказаться на бизнесе. Современный уровень цифровизации позволяет использовать специализированное программное обеспечение для анализа, коррекции и оптимального подбора музыкального сопровождения.

Основная часть. Влиянию музыки на посетителей посвящено множество исследований. Эксперимент 1980 года в супермаркете США показал, что темп музыки влияет на скорость движения посетителей: быстрый темп ускоряет передвижение, медленный – замедляет, при этом снижение скорости связано с увеличением объёма продаж [1]. Аналогичные результаты получены для ресторанов и кафе: при медленной музыке посетители дольше остаются и заказывают больше напитков [2]. Исследования также показали, что музыка снижает психологические барьеры между посетителем и заведением, а жанр и национальная принадлежность композиций влияют на выбор товаров [2].

Для качественного и единообразного воспроизведения музыкального фона, необходимо обеспечить предварительную коррекцию аудио. Это возможно благодаря использованию *FFmpeg* – набора инструментов командной строки и библиотек для обработки аудио- и видеофайлов. Одним из ключевых этапов коррекции является нормализация громкости различных композиций к единому стандарту. Для этого применяется фильтр *loudnorm*, реализующий нормализацию в соответствии со стандартом *EBU R*128. Для этого могут использоваться такие параметры, как [3]:

– *i* – интегральный уровень громкости (от -70 до -5, по умолчанию -24);

– *lra* –целевой диапазон уровня громкости (от 1 до 50, по умолчанию 7);

– *tp* – максимальный уровень пикового сигнала (от -9 до 0, по умолчанию -2).

Для уменьшения уровня шума можно использовать фильтр *afftdn* [3]. Например, параметр *noise_reduction* устанавливает уровень шумоподавления (в дБ), *noise_floor* – уровень шумового порога, и другие [3].

Atilt – фильтр для аудиостримов. Параметры: *freq* настраивает частоту, *level* – уровень громкости. Для получения информации о резкости звука можно использовать параметр *sharpness* фильтра *sr_am*; для яркости параметр *brightness* фильтра *despill* [3].

Для извлечения аудиодескрипторов и анализа музыкального сигнала можно применять библиотеку *Librosa* для *Python*. Одной из ключевых возможностей является извлечение темпа музыкальной композиции с использованием функции *beat_track*() [4].

Для анализа яркости звука используется такой признак, как спектральный центроид: чем выше полученное значение, тем ярче и острее звук, чем ниже, тем звук более глухой, басовый. Данный признак может быть вычислен с использованием функции *spectral_centroid*() [4].

Для получения информации о тембре музыкальной композиции можно использовать функцию *mfcc*(), которая также применяется в задачах определения жанра и распознавания музыкальных инструментов [4].

Процесс автоматизированного анализа и коррекции музыкального фона может быть представлен в виде последовательности этапов. На первом этапе осуществляется коррекция аудиофайла с использованием инструментов цифровой обработки сигналов. Второй этап включает извлечение и сохранение аудиодескрипторов. На основе полученных дескрипторов далее проводится автоматический анализ музыкальных композиций. Сравнение полученных значений с целевыми позволяет осуществлять подбор музыки в соответствии с видом общественного места и его атмосферой. Можно подбирать музыкальный фон под настроение посетителей, учитывая время суток, праздники и другое.

Для классификации музыкальных жанров применимы методы машинного обучения. К ним относятся метод опорных векторов (*SVM*), метод *k*-ближайших соседей (*k-NN*), дерево решений, случайный лес и нейронные сети [5].

Заключение. Эффективность акустического воздействия на посетителей напрямую зависит от параметров композиции, например, темпа, громкости, спектрального центроида. Извлечение дескрипторов из аудио, анализ и агрегация достижимы с использованием программного обеспечения, работающего с рассмотренными инструментами. Человеческий фактор исключается при классификации музыки, подбора плейлистов в соответствии с настроением посетителей, атмосферой общественного места и другими факторами, но при этом оставляя право за человеком на принятия решения. Применение методов цифровой обработки сигналов и анализа аудиодескрипторов позволяет формализовать процесс выбора музыкальных композиций. Это переводит формирование музыкального фона из области субъективного выбора в область инженерного анализа и алгоритмического управления.

Список литературы

1. *Milliman, R.E. Using Background Music to Affect the Behavior of Supermarket Shoppers / R.E. Milliman // Journal of Marketing. – 1982. – Т. 46, № 3. – С. 86-91*

2. North, A.C. The Influence of In-Store Music on Wine Selections / A.C. North, D.J. Hargreaves, J. McKendrick // Journal of Applied Psychology. – 1999. – Т. 84, № 2. – С. 271-276

3. FFmpeg Filters Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ffmpeg.org/ffmpeg-filters.html. – Дата доступа: 05.03.2026.

4. librosa [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://librosa.org/doc/latest/index.html. – Дата доступа: 06.03.2026.

5. Analyzing the Performance of Machine Learning Models in Music Genre Classification / L. Sharma [и др.] // International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET). – 2023. – Т. 11, № 6. – С. 4196-4202

UDC 004.85:004.62

AUTOMATED ANALYSIS AND CORRECTION OF BACKGROUND MUSIC IN PUBLIC SPACES BASED ON PSYCHOACOUSTIC DESCRIPTORS AND DIGITAL SIGNAL PROCESSING TOOLS

Zinkovskaya E.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Levchenya Zh.B. – Cand. of Sci., Associate Professor of the department of ICSD

Annotation. The influence of background music in public spaces on visitors' behavior is argued based on the results of several experiments. The paper provides a description of tools for audio file processing and analysis used for automated playlist selection.

Keywords: background music, audio file, FFmpeg, Librosa, visitor behavior, digital signal processing, music analysis

УДК 004.85:004.62

МЕТОДЫ ДИНАМИЧЕСКОЙ АГРЕГАЦИИ ГРУППОВЫХ ПРЕДПОЧТЕНИЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ МУЗЫКАЛЬНОГО ПЛЕЙЛИСТА С УЧЕТОМ КОНТЕКСТНЫХ ФАКТОРОВ

Зинковская Е.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Левченя Ж.Б. – к.т.н., доцент кафедры ПИКС

Аннотация. Аргументируется необходимость сбора музыкальных предпочтений в общественных местах, их агрегация, динамическое обновление плейлиста. Описываются категории методов для работы с контекстной информацией и некоторые из методов агрегации групповых предпочтений.

Ключевые слова: рекомендации, агрегация, музыкальный фон, алгоритм, плейлист

Введение. В настоящее время музыкальный фон является неотъемлемой частью различных общественных мест. Он влияет на настроение, состояние посетителей, а значит и на их активность в отношении предоставляемых общественными местами услуг. Корректность подбора музыкального плейлиста критически важна для социального комфорта посетителей и их вовлеченности в процесс удовлетворения предоставляемыми услугами. Обеспечить это можно путем сбора предпочтений, их агрегации и динамического обновления плейлиста.

Основная часть. Посетители имеют различные музыкальные предпочтения, что требует динамической системы рекомендаций. Однако даже для одного человека предпочтения не являются статичными, поскольку они зависят от цикличности деятельности и психоэмоционального состояния. На них влияют время суток, дни недели, праздники и события (например, вечером в будний день человек более уставший, чем утром). Согласно концепции Л. Балтрунаса [1], учет временного контекста является критически важным при подборе музыкального контента. Поэтому перед агрегацией предпочтений необходимо выполнять фильтрацию по времени суток и дням недели. В условиях общественного места с высокой ротацией посетителей фильтрация и агрегация должны выполняться итерационно. Дополнительно могут применяться и другие фильтры, например по жанрам или тематике, задаваемые автоматически или администраторами заведения. Это позволяет сохранить атмосферу и адаптировать её под посетителей.

Существует 3 основных категории методов для работы с контекстной информацией [1]:

1 Двумерные методы. Выполняют фильтрацию в соответствии с контекстуальными методами либо до создания рекомендаций, либо после.

2 Методы контекстуального моделирования. Учитывают контекстную информацию непосредственно в процессе сознания рекомендаций.

3 Гибридные методы. Комбинируют несколько подходов учета контекста.

Наиболее предпочтительно использование гибридных методов. Предварительная фильтрация формирует ограниченную базу треков, оптимизируя последующую агрегацию за счет меньшего количества производимых расчетов в сравнении с перебором всей базы треков. Это в свою очередь экономит ресурсы и оптимизирует процесс кэширования. Контекстное же моделирование позволяет сделать групповые рекомендации динамическими и более ориентированными на посетителей. Лучшее решение – объединение двух представленных подходов в гибридный метод.

Так как людей в общественном месте много, необходимо сбалансировать плейлист, чтобы он подходил «усредненному посетителю». Если один трек может не нравиться всем, то правильно подобранная очередь треков способна удовлетворить каждого или большинство.

Первый рассматриваемый метод – метод среднего значения. Он используется для формирования базового рейтинга, на основе которого строится очередь элементов, включаемых в плейлист. Расчет производится по формуле 1 [2].

$$score(G,i) = \frac{\sum_{u \in G} r^*(u,i)}{|G|}, \quad (1)$$

где *score* (*G*,*i*) – прогноз рейтинга для объекта *i* к группе *G*;

G – группа пользователей, предпочтения которых формируют плейлист;

i – оцениваемый объект (трек);

u – конкретный пользователь, входящий в группу *G*;

*r**(*u*,*i*) – предсказанный (реальный) рейтинг, который пользователь *u* поставил бы объекту *i*.

Метод позволяет рассчитать для каждого трека усредненную оценку предпочтений всей группы пользователей. На основе этих оценок формируется ранжированный список треков – от наиболее популярных композиций к наименее востребованным.

Второй метод называется «Балансировка без затухания». Формула 2 описывает функцию накопленной удовлетворенности пользователя [2].

$$sat(u,S) = \frac{\sum_{i \in S} r^*(u,i)}{\sum_{i \in M} r^*(u,i)}, \quad (2)$$

где *sat* (*u*,*S*) – уровень накопленной удовлетворенности пользователя *u* последовательностью объектов (треков) *S*;

i – конкретный объект (трек) в наборе;

u – конкретный пользователь из группы;

*r**(*u*,*i*) – предсказанный (реальный) рейтинг, который пользователь *u* поставил бы объекту *i*;

S – последовательность треков, которая уже сформирована к текущему моменту;

M – гипотетический набор треков (той же длины, что и *S*), имеющий самые высокие индивидуальные рейтинги для пользователя *u* во всей коллекции.

Метод балансировки без затухания базируется на расчете функции накопленной удовлетворенности, которая представляет собой отношение суммарного рейтинга проигрываемых треков к максимально возможному рейтингу конкретного пользователя. Использование данного метода обеспечивает высокую вероятность удовлетворения музыкальных предпочтений каждого посетителя. Выбор следующего трека осуществляется по принципу максимизации минимальной удовлетворенности среди всех пользователей в группе.

Третий метод – балансировка с затуханием. В этом методе наибольший вес присваивается треку, который звучит в данный момент, а веса всех остальных композиций убывают в геометрической прогресии. Расчет производится по формуле 3.

$$sat(u,S) = \frac{\sum_{k=1}^{|S|} \gamma^{|S|-k} r^*(u,\ i_k)}{\sum_{l=1}^{|M|} \gamma^{|M|-k} r^*(u,\ i_l)}, \quad (3)$$

где *sat* (*u*,*S*) – уровень накопленной удовлетворенности пользователя *u* последовательностью объектов (треков) *S* с учетом забывания старых треков;

γ – коэффициент затухания;

k (или *i*) – порядковый номер трека в очереди;

i – конкретный объект (трек) в наборе;

u – конкретный пользователь из группы;

*r**(*u*,*i*) – предсказанный (реальный) рейтинг, который пользователь *u* поставил бы объекту *i*;

S – последовательность треков, которая уже сформирована к текущему моменту;

M – гипотетический набор треков (той же длины, что и *S*), имеющий самые высокие индивидуальные рейтинги для пользователя u во всей коллекции.

Преимущество данного подхода – актуальность формируемого плейлиста, достигаемая за счет «забывания» ранее проигранных треков. Это обеспечивается параметром затухания, благодаря которому более новые композиции получают больший вес при расчете удовлетворенности посетителя.

Предложенные методы агрегации обладают линейной вычислительной сложностью, что позволяет применять их в условиях многотысячной аудитории с учетом предварительной фильтрации отправляемых предпочтений.

Для создания более точной последовательности треков более предпочтительным является 3 вариант.

Для формирования наиболее релевантного индивидуального рейтинга, применяемого в балансировке с затуханием, можно использовать статистический анализ частоты прослушивания, представленный в формуле 4.

$$freq_{i,j} = \frac{count(i,j)}{totalCount}, \quad (4)$$

где i – конкретный пользователь;

j – конкретный трек;

$freq_{i,j}$ – нормализованная частота прослушивания трека j пользователем i;

$count\ (i, j)$ – количество прослушивания трека j пользователем i;

$totalCount$ – общее количество прослушиваний всех треков пользователем i за рассматриваемый период.

Заключение. Правильно выбранный музыкальный фон играет значимую роль для бизнеса в сфере офлайн-услуг и розничной торговли. Исследуемые методы позволяют в динамическом режиме составлять плейлисты на основе предпочтений группы. В рассматриваемом контексте наилучшие результаты для обработки контекстной информации демонстрирует гибридный подход, тогда как для агрегации данных наиболее эффективна «Балансировка с затуханием».

Список литературы

1. *Valera, A. Context-Aware Music Recommender Systems for Groups: A Comparative Study / A. Valera, A. Lozano Murciego, M.N. Moreno-García // Information. – 2021. – . – T. 12, № 12. – C. 1-16*

2. Piliponyte, A. Sequential Music Recommendations for Groups by Balancing User Satisfaction / A. Piliponyte, F. Ricci, J. Koschwitz // CEUR Workshop Proceedings. – 2013. – № 997. – C. 6-11

UDC 004.85:004.62

METHODS OF DYNAMIC AGGREGATION OF GROUP PREFERENCES IN MUSIC PLAYLIST GENERATION WITH CONSIDERATION OF CONTEXTUAL FACTORS

Zinkovskaya E.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Levchenya Zh.B. – Cand. of Sci., Associate Professor of the department of ICSD

Annotation. The necessity of collecting musical preferences in public spaces, their aggregation, and dynamic playlist updating are justified. Categories of methods for handing contextual information and some methods of group preference aggregation are described.

Keywords: recommendation, aggregation, background music, algorithm, playlist

УДК 676.7

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ *PWM* И *MPPT* В КОНТРОЛЛЕРАХ ЗАРЯДА СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ

Куделич К.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Ларькин А. Д. – магистр, ассистент кафедры ПИКС

Аннотация. Рассмотрены две основные технологии контроллеров заряда для солнечных батарей – *PWM* (широтно-импульсная модуляция) и *MPPT* (отслеживание точки максимальной мощности). Проанализированы принципы их работы, преимущества, недостатки и ключевые отличия. Проведено сравнение эффективности в различных условиях эксплуатации.

Ключевые слова: широтно-импульсная модуляция, *PWM*, отслеживание точки максимальной мощности , *MPPT*, контроллер заряда солнечной батареи.

Введение. Эффективность автономных солнечных систем во многом определяется правильным выбором контроллера заряда – устройства, которое управляет процессом зарядки аккумулятора и обеспечивает максимальное использование энергии, вырабатываемой фотоэлектрическими панелями. На сегодняшний день наиболее распространены два типа контроллеров: на основе широтно-импульсной модуляции (*PWM*) и с функцией отслеживания точки максимальной мощности (*MPPT*).

Основная часть. Широтно-импульсная модуляция (ШИМ/*PWM*) – это метод управления мощностью, подаваемой на нагрузку, путем изменения длительности (ширины) импульсов при постоянной частоте и амплитуде сигнала. Он основан на переключении источника питания между состояниями «включено» и «выключено», что обеспечивает высокий КПД и минимальный нагрев управляющих элементов

Нагрузка получает питание не постоянно, а импульсами. Среднее напряжение или ток регулируется изменением времени включенного состояния (импульса) внутри фиксированного периода. Чем больше длительность включенного состояния, тем выше среднее значение напряжения или мощности, передаваемой на нагрузку. [1]

PWM -контроллер работает путем переключения между различными уровнями электрического тока в зависимости от того, какой тип выхода требуется от системы, которую он питает – постоянный ток (*DC*) или переменный ток (*AC*).

Контроллер регулирует это переключение с помощью широтно-импульсной модуляции, которая посылает регулярные импульсы через определенные промежутки времени с различными рабочими циклами (процентное время «включения»). [2]

MPPT (*Maximum Power Point Tracking* – отслеживание точки максимальной мощности) – это специальная технология, которая применяется для повышения выходной мощности турбин и фотоэлектрических солнечных модулей в различных обстоятельствах. Он динамически подбирает оптимальное соотношение, обеспечивая отбор максимально возможной мощности (*MPP*) при меняющейся освещенности и температуре. Контроллер *MPPT* может в режиме реального времени определять напряжение, генерируемое солнечными панелями, и отслеживать максимальные значения напряжения и тока, чтобы система могла заряжать аккумулятор с максимальной выходной мощностью. *MPPT* может применяться в фотоэлектрических инверторах для координации с солнечными панелями, батареями и рабочими нагрузками. [3]

Таким образом, принципиальное отличие заключается в том, что *PWM*-контроллер лишь ограничивает ток на уровне, соответствующем напряжению аккумулятора, тогда как *MPPT*-контроллер преобразует избыточное напряжение панели в дополнительный зарядный ток, что и обеспечивает прирост вырабатываемой энергии.

Для визуального представления описанных выше принципов работы на рисунке 1 приведён график прямоугольных импульсов с изменяющейся шириной импульса, что отражает суть широтно-импульсной модуляции. На рисунке 2 показан график мощности, генерируемой 12-вольтовым *MPPT*-контроллером при 100% освещённости, который иллюстрирует способность контроллера удерживать рабочую точку в области максимальной мощности.

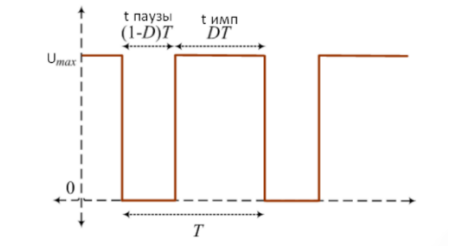




Рисунок 1 – График прямоугольных импульсов с меняющейся шириной импульса, где *T* – период ШИМ, *t* – длительность импульса

Рисунок 2 – График мощности 12-и вольтовой *MPPT* контроллера солнечной панели, при 100% освещённости

MPPT контроллеры заряда отличаются своей способностью максимизировать мощность, извлекаемую из солнечных панелей, в широком спектре условий освещенности. Они автоматически адаптируются к изменениям интенсивности солнечного света, что позволяет поддерживать оптимальную производительность даже в облачную погоду или при слабом солнечном свете. В условиях, когда освещенность меняется в течение дня (например, в рассветные или закатные часы), *MPPT* контроллеры способны определять и поддерживать точку максимальной мощности, обеспечивая таким образом более эффективное использование солнечных панелей. [4]

PWM-контроллеры просты и надёжны, но ограничены в эффективности при переменной освещённости. *MPPT*-контроллеры извлекают на 20–30% больше энергии и позволяют последовательно соединять панели, но имеют более высокую стоимость. *MPPT* обеспечивает температурную компенсацию заряда аккумулятора, допускает использование более длинных кабелей за счёт повышенного входного напряжения, эффективнее работает при частичном затенении панелей и лучше подходит для масштабируемых систем. Выбор зависит от требуемой эффективности и бюджета.

Из приведённых определений выявляется ещё одно существенное различие, касающееся характера взаимодействия контроллера с источником энергии. *PWM*-контроллер реализует дискретное управление путём переключения источника питания между состояниями «включено» и «выключено», что по своей сути представляет собой метод регулирования уже существующего уровня мощности без поиска оптимальной рабочей точки. В отличие от него, MPPT-контроллер выполняет непрерывное измерение текущих значений напряжения и тока солнечных панелей в реальном времени, что позволяет ему не просто коммутировать сигнал, а активно отслеживать и динамически подбирать оптимальное соотношение между напряжением и током для достижения максимально возможной мощности (MPP). Таким образом, если PWM ориентирован на стабильное поддержание заданного режима заряда путём

изменения длительности импульсов, то MPPT решает более сложную задачу – адаптацию к изменяющимся внешним условиям (освещённости и температуре) с целью извлечения максимума энергии из фотоэлектрического модуля в каждый момент времени.

Главным фактором при выборе контроллера считается будущее назначение с необходимой степенью производительности. С простыми легкими задачами и небольшой солнечной системой справится *PWM*. Если требуется максимальная выработка, то предпочтение стоит отдать *MPPT*. При этом вне зависимости от выбранной технологии решающее значение имеет качество изготовления устройства, которое напрямую зависит от надёжности проверенного производителя.

Заключение. В ходе работы были рассмотрены две основные технологии контроллеров заряда солнечных батарей – *PWM* (широтно-импульсная модуляция) и *MPPT* (отслеживание точки максимальной мощности). Проведённый анализ позволяет сделать вывод, что каждая из технологий имеет свою область применения, и выбор оптимального решения напрямую зависит от конкретных условий эксплуатации, бюджета проекта и требований к эффективности системы. Таким образом, при проектировании солнечной системы необходимо исходить из баланса между начальными затратами и долгосрочной энергетической эффективностью, отдавая предпочтение проверенным производителям вне зависимости от выбранного типа контроллера. Следовательно, для систем с высокой энергетической нагрузкой, ограниченной площадью размещения панелей или нестабильными погодными условиями применение *MPPT* является экономически оправданным, тогда как *PWM* остаётся рациональным выбором для маломощных и бюджетных установок.

Список литературы

1. Что такое ШИМ? – 2026 [Электронный ресурс]. – [https://digitalweed.ru/ что-такое-шим-pwm/] – Дата доступа: 30.03.2026.

2. Как широтно-импульсная модуляция используется в автоматизации? – 2026 [Электронный ресурс]. – [https://unitmc.ru/news/chto-takoe-shim-kak-shirotno-impulsnaya-m/]– Дата доступа: 30.03.2026.

3. Что такое MPPT? – 2026 [Электронный ресурс]. – [https://ru.veichi.com/knowledge/what-is-mppt.html] – Дата доступа: 30.03.2026.

4. Сравнение MPPT с PWM контроллеров заряда – 2026 [Электронный ресурс]. – [https://e-solarpower.ru/stati/mppt-protiv-pwm-kontrollerov-zaryada/?srsltid=AfmBOoqOgOIlfJxJVHhOEaWD0ojsvUYjtPdVkipgO7HrQwzTXb65gewD]

5. Что такое контроллер заряда солнечной батареи? – 2026 [Электронный ресурс]. – [https://solartime.by/novosti/kakoj-kontroller-zaryada-solnechnoj-batarei-vybrat-pwm-ili-mppt.html] – Дата доступа: 30.03.2026.

UDC 676.7

APPLICATION OF PWM AND MPPT TECHNOLOGIES IN SOLAR BATTERY CHARGE CONTROLLERS

Kudelich K.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Larkin A.D. – Master's degree, Assistant of the department of ICSD

Annotation. Two main technologies for solar battery charge controllers – PWM (Pulse-Width Modulation) and MPPT (Maximum Power Point Tracking) – are examined. Their operating principles, advantages, disadvantages, and key differences are analyzed. A comparison of their efficiency under various operating conditions is performed.

Keywords: pulse-width modulation, PWM, maximum power point tracking, MPPT, solar battery charge controller.

УДК 629.7

ФОРМИРОВАНИЕ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ НА АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОФИЛЯХ ПРИ МАЛЫХ ЧИСЛАХ РЕЙНОЛЬДСА

Бавбель Е.И.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Алексеев В.Ф. – к.т.н, доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. Рассматриваются закономерности течения воздуха при малых числах Рейнольдса. Описаны особенности формирования пограничного слоя и условия возникновения отрыва потока на аэродинамических профилях. Показано влияние числа Рейнольдса на аэродинамические характеристики летательных аппаратов малого размера.

Ключевые слова: число Рейнольдса, аэродинамика, пограничный слой, ламинарное течение, аэродинамический профиль.

Исследование вязких течений около аэродинамических поверхностей представляет фундаментальную проблему современной аэродинамики, решение которой определяет эффективность проектирования летательных аппаратов различных классов [1-19]. Характер течения воздуха вокруг летательного аппарата определяется рядом параметров, среди которых особое значение имеет число Рейнольдса. Данный параметр характеризует соотношение инерционных и вязкостных сил в потоке воздуха и позволяет определить режим течения [5].

Для летательных аппаратов малого размера (мини- и микро-БПЛА, авиамодели) типичны значения числа Рейнольдса порядка 10^4–10^5, что на два–три порядка ниже, чем для транспортных самолётов [3]. В указанном диапазоне вязкостные эффекты приобретают первостепенное значение, обусловливая специфику структуры пограничного слоя и механизмов взаимодействия потока с обтекаемой поверхностью [4].

Формирование пограничного слоя на профиле крыла при малых числах Рейнольдса характеризуется преобладанием ламинарного режима течения, толщина которого определяется соотношением $\delta \approx 5x/\sqrt{Re_x}$, где x – текущая координата вдоль профиля, Re_x – локальное число Рейнольдса [5]. Ламинарный пограничный слой обладает повышенной чувствительностью к нарушению благоприятного градиента давления, что предопределяет возможность преждевременного отрыва потока и формирования зоны рециркуляции с соответствующим изменением аэродинамических сил и моментов [6].

Отрыв ламинарного пограничного слоя приводит к качественной перестройке структуры обтекания, сопровождающейся ростом сопротивления давления и снижением несущей способности профиля [7]. Данные эффекты детерминируют необходимость разработки специализированных методов профилирования и управления пограничным слоём для обеспечения требуемых аэродинамических характеристик летательных аппаратов малого размера [8].

Актуальность исследования обусловлена расширением областей применения беспилотных авиационных систем с ограниченными линейными размерами, требующих достоверного прогнозирования аэродинамических характеристик в условиях доминирования вязкостных эффектов [9]. Существующие методики расчёта, верифицированные для высоких чисел Рейнольдса, требуют адаптации и валидации для диапазона $Re < 10^5$ с учётом специфики ламинарно-турбулентного перехода и отрывных явлений [10].

Целью настоящей работы является анализ закономерностей формирования пограничного слоя на аэродинамических профилях при малых числах Рейнольдса и оценка влияния вязкостных эффектов на интегральные аэродинамические характеристики летательных аппаратов малого размера.

Для летательных аппаратов малого размера характерны относительно небольшие линейные размеры и сравнительно низкие скорости полета. В результате этого значения числа Рейнольдса оказываются значительно ниже, чем для крупных летательных аппаратов. В таких условиях вязкостные силы начинают оказывать более заметное влияние на структуру потока и на характер взаимодействия воздушного потока с поверхностью крыла.

Число Рейнольдса определяется следующим выражением:

$$Re = \frac{\rho VL,}{\mu} \quad (1)$$

где: ρ – плотность воздуха;

V – скорость потока;

L – характерный линейный размер;

μ – динамическая вязкость воздуха.

Для летательных аппаратов малого размера значения числа Рейнольдса обычно находятся в диапазоне 10^4–10^5. В данном диапазоне течение воздуха имеет ряд особенностей, связанных с повышенным влиянием вязкости. Это приводит к изменению структуры пограничного слоя и может оказывать заметное влияние на аэродинамические характеристики профилей крыла [16].

При движении воздушного потока вдоль поверхности аэродинамического профиля формируется пограничный слой. Пограничный слой представляет собой тонкую область потока, в которой скорость воздуха изменяется от нуля на поверхности крыла до скорости основного потока. Формирование пограничного слоя связано с действием вязкости воздуха и взаимодействием потока с поверхностью аэродинамического профиля.

Толщина пограничного слоя зависит от расстояния от передней кромки крыла и параметров потока. Для ламинарного режима течения она может быть приближенно определена по выражению:

$$\delta \approx \frac{5x}{\sqrt{Re_x}} \quad (2)$$

где: x – расстояние от передней кромки профиля;

Re_x – локальное число Рейнольдса.

При малых числах Рейнольдса пограничный слой может сохранять ламинарный характер на значительной части поверхности крыла. Однако ламинарное течение обладает меньшей устойчивостью по сравнению с турбулентным. Под действием внешних возмущений ламинарный пограничный слой может переходить в турбулентный режим течения.

Кроме того, при неблагоприятном градиенте давления возможно возникновение отрыва потока от поверхности аэродинамического профиля. Отрыв потока сопровождается образованием вихревых структур и приводит к изменению распределения давления на поверхности крыла. Это может вызывать увеличение аэродинамического сопротивления и снижение подъемной силы профиля [17].

На рисунке 1 представлена схема формирования пограничного слоя при малых числах Рейнольдса.

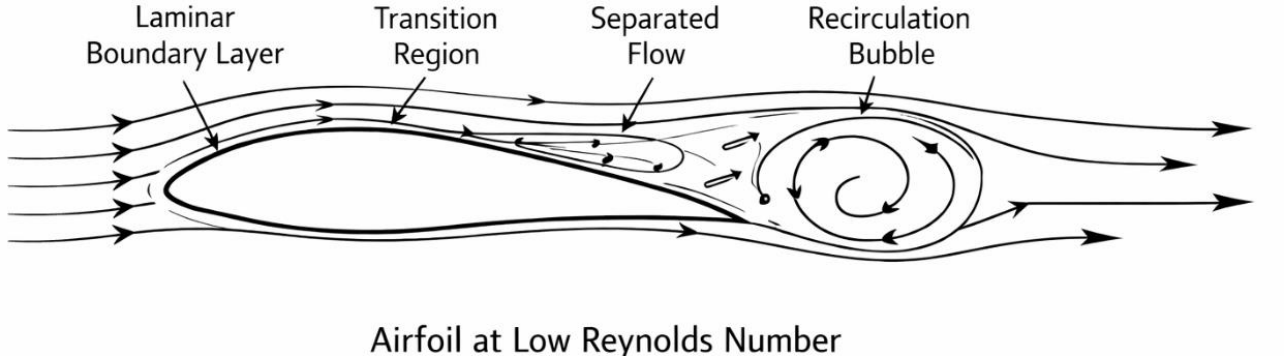


Рисунок 1 – Формирование пограничного слоя и возможный отрыв потока при малых числах Рейнольдса

Отрыв потока является одним из факторов, оказывающих существенное влияние на аэродинамические характеристики летательных аппаратов малого размера. В связи с этим при проектировании аэродинамических профилей необходимо учитывать влияние числа Рейнольдса на структуру потока и характеристики пограничного слоя.

Анализ закономерностей течения воздуха при малых числах Рейнольдса позволяет более точно оценивать аэродинамические характеристики летательных аппаратов малого размера. Учет данных особенностей является важным этапом при проектировании аэродинамических профилей и оптимизации параметров летательных аппаратов [1–19].

В работе рассмотрены закономерности течения воздуха при малых числах Рейнольдса и их влияние на аэродинамические характеристики летательных аппаратов малого размера. Показано, что при уменьшении числа Рейнольдса возрастает влияние вязкостных сил, что приводит к изменению структуры пограничного слоя и характера взаимодействия воздушного потока с поверхностью аэродинамического профиля.

Отмечено, что при малых числах Рейнольдса пограничный слой может сохранять ламинарный характер на значительной части поверхности крыла, однако такой режим течения обладает меньшей устойчивостью. При неблагоприятных условиях возможен переход ламинарного течения в турбулентное, а также возникновение отрыва потока, что приводит к увеличению аэродинамического сопротивления и снижению подъемной силы.

Полученные результаты показывают, что учет закономерностей течения воздуха при малых числах Рейнольдса является важным этапом при проектировании летательных аппаратов малого размера. Анализ структуры пограничного слоя и условий возникновения отрыва потока позволяет более точно оценивать аэродинамические характеристики профилей и повышать эффективность летательных аппаратов.

Дополнительное исследование особенностей течения воздуха при малых числах Рейнольдса представляет интерес для дальнейшего совершенствования аэродинамических профилей и разработки новых конструктивных решений в области летательных аппаратов малого размера. Учет данных факторов позволяет улучшить аэродинамическое качество и повысить эффективность эксплуатации летательных аппаратов.

Список литературы

1. *Schlichting H., Gersten K. Boundary-Layer Theory. – 8th ed. – Berlin: Springer, 2017. – 805 p. – ISBN 978-3-662-52919-5.*

2. *White F.M. Viscous Fluid Flow. – 3rd ed. – New York: McGraw-Hill, 2006. – 629 p. – ISBN 978-0-07-124493-0.*

3. *Mueller T.J., DeLaurier J.D. Aerodynamics of small vehicles // Annual Review of Fluid Mechanics. – 2003. – Vol. 35. – P. 89–111. – DOI: 10.1146/annurev.fluid.35.101101.161102.*

4. *Lissaman P.B.S. Low-Reynolds-number airfoils // Annual Review of Fluid Mechanics. – 1983. – Vol. 15. – P. 223–239. – DOI: 10.1146/annurev.fl.15.010183.001255.*

5. *Rosenhead L. Laminar Boundary Layers. – Oxford: Clarendon Press, 1963. – 687 p.*

6. *Tani I. Boundary-layer transition // Annual Review of Fluid Mechanics. – 1969. – Vol. 1. – P. 169–196. – DOI: 10.1146/annurev.fl.01.010169.001125.*

7. *Gad-el-Hak M. Flow control: Passive, active, and reactive flow management. – Cambridge: Cambridge University Press, 2000. – 422 p. – ISBN 978-0-521-77006-1.*

8. *Петров Г.И. Аэродинамика тел малых размеров. – М.: Наука, 1983. – 256 с.*

9. *Sirohi J. Micro air vehicles // Encyclopedia of Aerospace Engineering. – Chichester: John Wiley & Sons, 2010. – DOI: 10.1002/9780470686652.eae238.*

10. *Rumsey C.L., Slotnick J.P. Overview and summary of the Second AIAA High Lift Prediction Workshop // Journal of Aircraft. – 2015. – Vol. 52, № 4. – P. 1006–1025. – DOI: 10.2514/1.C032661.*

11. *Бавбель, Е. И. Современные материалы для создания легких и устойчивых БПЛА / Е. И. Бавбель // Научные исследования 2024» : сборник статей XIII Международной научно-практической конференции / МЦНС «Наука и просвещение». – Пенза, 2024. – С. 36–39.*

12. *Бавбель, Е. И. Анализ аэродинамических характеристик крыла беспилотного летательного аппарата / Е. И. Бавбель // Глобальные вызовы и научные решения : сборник статей и тезисов Международной научно-практической конференции (12 марта 2026 г, г. Иркутск) / Омега сайнс. – Уфа, 2026. – С. 26–30.*

13. *Бавбель, Е. И. Основные факторы, влияющие на эффективность беспилотных летательных аппаратов / Е. И. Бавбель // Глобальные вызовы и научные решения : сборник статей и тезисов Международной научно-практической конференции (12 марта 2026 г, г. Иркутск) / Омега сайнс. – Уфа, 2026. – С. 31–35.*

14. *Бавбель, Е. И. Подходы к проектированию БПЛА с повышенной выносливостью и грузоподъемностью / Е. И. Бавбель, А. А. Бородич, Е. В. Коляда // Новые информационные технологии в научных исследованиях «НИТ-2023» : материалы XXVIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов, Рязань, 22–24 ноября, 2023 г. : в 2 т. Т 2 / Рязанский государственный радиотехнический университет имени В. Ф. Уткина. – Рязань, 2023. – С. 60–62.*

15. *White F. Fluid Mechanics / F. White. – New York : McGraw-Hill Education, 2016. – 864 p.*

16. *Schlichting H. Boundary-Layer Theory / H. Schlichting, K. Gersten. – Berlin : Springer, 2017. – 805 p.*

17. *Pope S. Turbulent Flows / S. Pope. – Cambridge : Cambridge University Press, 2000. – 771 p.*

18. *McCormick B. Aerodynamics, Aeronautics and Flight Mechanics / B. McCormick. – New York : John Wiley & Sons, 1995. – 652 p.*

19. *Houghton E. Aerodynamics for Engineering Students / E. Houghton, P. Carpenter. – Oxford : Butterworth-Heinemann, 2017. – 688 p.*

UDC 629.7

PATTERNS OF AIRFLOW AT LOW REYNOLDS NUMBERS

Bavbel E.I.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Viktor F. Alexeev – Cand. of Sci., assistant professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. The paper considers the patterns of airflow at low Reynolds numbers. The features of boundary layer formation and the conditions of flow separation on aerodynamic profiles are described. The influence of the Reynolds number on aerodynamic characteristics of small aircraft is analyzed.

Keywords: Reynolds number, aerodynamics, boundary layer, laminar flow, aerodynamic profile.

УДК 629.7

БАРОМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫСОТЫ ПОЛЕТА БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Бавбель Е.И.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Алексеев В. Ф. – к. т. н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. Рассматриваются барометрические методы определения высоты полета беспилотных летательных аппаратов. Описаны принципы работы барометрических датчиков давления и их применение в системах навигации летательных аппаратов. Показано влияние атмосферного давления на определение высоты полета.

Ключевые слова: барометрический датчик, атмосферное давление, высота полета, беспилотный летательный аппарат, навигационные системы.

Определение высоты полета является одной из важнейших задач навигации летательных аппаратов. Данные о высоте используются системами управления для поддержания заданного режима полета, стабилизации аппарата и обеспечения безопасности выполнения полетного задания. В современных беспилотных летательных аппаратах применяются различные методы измерения высоты, среди которых широко используются барометрические методы [1].

Барометрические методы основаны на измерении атмосферного давления и использовании зависимости между давлением и высотой. Атмосферное давление уменьшается с увеличением высоты, поэтому измеряя текущее значение давления можно определить высоту летательного аппарата относительно некоторого опорного уровня. Такой подход применяется в авиации на протяжении длительного времени и используется как в пилотируемых, так и в беспилотных летательных аппаратах [2].

Числовая зависимость между атмосферным давлением и высотой описывается барометрической формулой:

$$h = \frac{RT}{gM} \ln\left(\frac{p_0}{p}\right), \quad (1)$$

где: h – высота полета;

R – универсальная газовая постоянная;

T – температура воздуха;

g – ускорение свободного падения;

M – молярная масса воздуха;

p_0 – давление на уровне отсчетар – измеренное атмосферное давление.

Данная зависимость используется в системах измерения высоты для вычисления текущего положения летательного аппарата. Барометрический датчик измеряет атмосферное давление, после чего на основе полученных данных вычисляется высота полета.

Современные барометрические датчики представляют собой компактные электронные устройства, основанные на использовании чувствительных элементов, реагирующих на изменение давления. В большинстве случаев используются микромеханические датчики давления, изготовленные по технологии MEMS. Такие датчики обладают высокой чувствительностью, небольшими размерами и низким энергопотреблением, что делает их удобными для применения в бортовых системах летательных аппаратов [3-4].

Одним из преимуществ барометрических методов определения высоты является простота реализации. Для работы барометрического датчика не требуется использование внешних источников сигнала, таких как спутниковые навигационные системы. Это позволяет

применять данный метод в различных условиях эксплуатации, включая ситуации, когда сигналы спутниковой навигации могут быть недоступны или искажены.

Барометрические датчики часто используются совместно с другими навигационными приборами. Например, данные барометрического датчика могут комбинироваться с информацией от инерциальных измерительных систем, GPS-приемников и других датчиков. Совместная обработка данных позволяет повысить точность определения высоты и уменьшить влияние внешних факторов на результаты измерений.

На рисунке 1 представлена схема принципа работы барометрического датчика давления, применяемого в системах определения высоты полета.

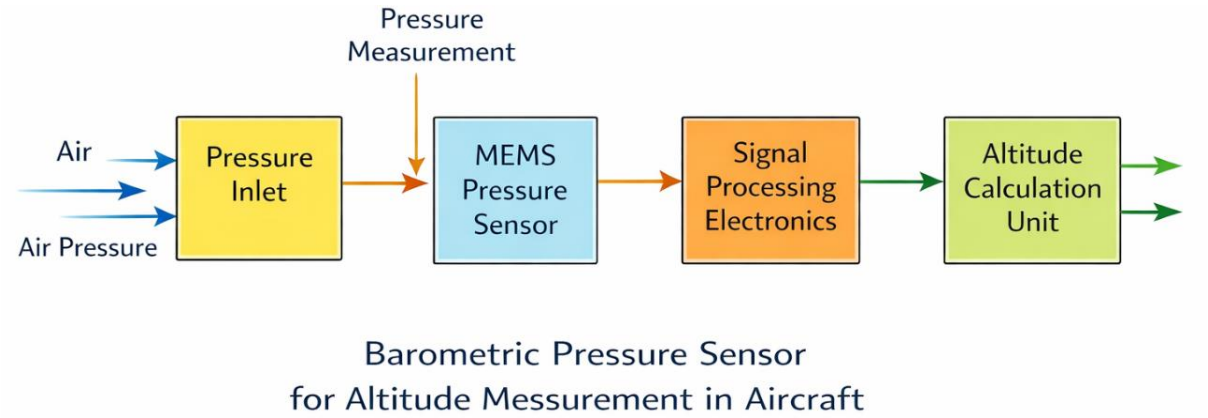


Рисунок 1 – Принцип работы барометрического датчика давления

Несмотря на широкое применение, барометрические методы имеют определенные ограничения. Основной источник погрешностей связан с изменением атмосферного давления в результате погодных условий. Давление воздуха может изменяться из-за изменения температуры, влажности и движения воздушных масс. В результате этого измеренная высота может отличаться от фактической.

Для уменьшения влияния данных факторов применяются методы коррекции и фильтрации измерений. Например, используется предварительная калибровка датчиков, а также алгоритмы обработки данных, позволяющие компенсировать влияние атмосферных изменений. Кроме того, в некоторых системах используется комбинирование данных нескольких датчиков, что позволяет повысить надежность измерений [5].

Барометрические методы занимают важное место среди средств определения высоты полета летательных аппаратов. Простота конструкции датчиков, их компактность и возможность интеграции с другими навигационными системами обеспечивают широкое применение данного способа в современных бортовых системах. В работе рассмотрены барометрические методы определения высоты полета летательных аппаратов и особенности их применения в навигационных системах. Показано, что использование барометрических датчиков позволяет получать информацию о высоте на основе измерения атмосферного давления и его зависимости от высоты.

Отмечено, что современные барометрические датчики обладают высокой чувствительностью и небольшими габаритами, что позволяет эффективно использовать их в бортовых системах летательных аппаратов. Совместное применение барометрических датчиков с другими навигационными приборами позволяет повысить точность определения высоты и устойчивость работы навигационных систем.

Использование барометрических методов измерения высоты остается одним из распространенных решений в авиационных системах навигации. Дальнейшее совершенствование датчиков давления и алгоритмов обработки измерительной информации позволит повысить точность определения высоты и расширить возможности применения данных систем в летательных аппаратах.

Список литературы

1. *R. Flight Stability and Automatic Control. – New York : McGraw-Hill, 1998.*
2. *Stevens, B., Lewis, F. Aircraft Control and Simulation. – Hoboken : Wiley, 2015.*
3. *Cook, M. Flight Dynamics Principles. – Oxford : Butterworth-Heinemann, 2012.*
4. *Sadraey, M. Aircraft Design: A Systems Engineering Approach. – Oxford : Wiley, 2013.*
5. *Etkin, B., Reid, L. Dynamics of Flight: Stability and Control. – New York : Wiley, 1996*

UDC 629.7

BAROMETRIC METHODS FOR DETERMINING THE FLIGHT ALTITUDE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES

Bavbel E.I.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Viktor F. Alexeev – Cand. of Sci., assistant professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. The paper considers barometric methods for determining the flight altitude of unmanned aerial vehicles. The operating principles of barometric pressure sensors and their application in navigation systems are described. The influence of atmospheric pressure on altitude determination is analyzed.

Keywords: barometric sensor, atmospheric pressure, flight altitude, unmanned aerial vehicle, navigation systems.

УДК 004.94:621.396.6:534.1

МОДЕЛИРОВАНИЯ СОБСТВЕННОЙ ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЙ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ МНОГОКАНАЛЬНОГО КОНТРОЛЛЕРА УПРАВЛЕНИЯ СЕРВОМОТОРАМИ

Быстров М.Ю.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Алексеев В.Ф. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. В работе рассмотрен процесс определения собственных частот колебаний печатной платы электронного контроллера управления сервомоторами. Анализ выполнялся с использованием двух программных средств – *SolidWorks* и *COMSOL*. В ходе моделирования была построена трёхмерная модель платы с установленными компонентами, заданы материалы и граничные условия, после чего выполнен частотный анализ. В результате установлено, что собственная частота конструкции составляет 1219,5 Гц в SolidWorks и 1106,6 Гц в COMSOL. Проведено сравнение результатов и дана оценка различий. Показано, что несмотря на расхождения, обе программы дают схожую картину поведения конструкции.

Ключевые слова: печатная плата, собственная частота, частотный анализ, вибрации, моделирование, *SolidWorks*, *COMSOL*.

Введение. При разработке электронных устройств важно учитывать не только электрические характеристики, но и механические свойства конструкции. Печатные платы являются основой большинства электронных систем, и именно они принимают на себя воздействие вибраций, ударов и других нагрузок [1–8].

Во время работы устройства или при транспортировке могут возникать механические колебания. Если частота этих колебаний совпадает с собственной частотой платы, возникает резонанс. Это может привести к повреждению дорожек, пайки или компонентов.

Чтобы избежать подобных ситуаций, на этапе проектирования выполняется анализ собственных частот. Такой анализ позволяет заранее определить, при каких условиях конструкция может работать нестабильно.

В настоящее время для решения подобных задач широко применяются системы автоматизированного проектирования и инженерного анализа. Среди них можно выделить *SolidWorks* и *COMSOL*.

Целью данной работы является определение собственных частот печатной платы контроллера и сравнение результатов, полученных в разных программных средах.

Роль многоканальных контроллеров в современных мехатронных системах. Многоканальные контроллеры управления сервомоторами являются ключевым звеном в структуре современных мехатронных систем, включая промышленные роботы, станки с числовым программным управлением (ЧПУ), автоматизированные линии сборки, медицинскую технику и высокоточное позиционирующее оборудование. Эти устройства осуществляют синхронное управление несколькими исполнительными механизмами, обеспечивая координацию движений с высокой точностью и быстродействием.

В условиях развития промышленности 4.0 и роботизации производства требования к надежности и безотказности контроллеров управления существенно возрастают. Отказ такого устройства в процессе эксплуатации может привести к нарушению технологического цикла, повреждению дорогостоящего оборудования, а в некоторых случаях – к созданию аварийных ситуаций, угрожающих безопасности персонала.

Влияние механических воздействий на работоспособность печатных плат. Печатная плата контроллера, являющаяся несущей конструкцией для всех электронных компонентов, в процессе эксплуатации подвергается комплексным механическим воздействиям. Особую значимость эта проблема приобретает для многоканальных

контроллеров, которые, как правило, имеют увеличенные габариты печатной платы (для размещения нескольких каналов управления) и, соответственно, меньшую жесткость конструкции. При этом на плате могут быть установлены тяжелые компоненты (силовые модули, трансформаторы, конденсаторы большой емкости), создающие дополнительные сосредоточенные массы, что снижает собственные частоты колебаний.

Последствия недостаточной вибропрочности. Недостаточная вибропрочность печатной платы может привести к следующим негативным последствиям: механическому разрушению паяных соединений (особенно для компонентов в корпусах BGA, QFN), что является одной из наиболее частых причин отказов электроники в вибрационных условиях; повреждению выводов компонентов и дорожек печатного монтажа; нарушению электрических контактов в разъемных соединениях; микротрещинам в диэлектрике печатной платы, приводящим к снижению сопротивления изоляции и пробоям; изменению параметров электронных компонентов под воздействием механических напряжений (особенно для кварцевых резонаторов, конденсаторов, индуктивных элементов).

Ограничения традиционных подходов к оценке динамической прочности. Традиционные методы обеспечения вибропрочности печатных плат базируются на: аналитических расчетах, использующих упрощенные модели (пластина постоянной толщины с равномерным распределением массы), которые не учитывают реальную топологию размещения компонентов и локальные изменения жесткости; натурных испытаниях на вибростендах, требующих изготовления полноценных опытных образцов, что сопряжено со значительными временными и материальными затратами, а также не позволяет оперативно оценить влияние конструктивных изменений на динамические характеристики; эмпирических рекомендациях, основанных на опыте проектирования аналогичных устройств, которые не всегда применимы к новым конструктивным решениям [1–8].

Выявление проблем вибропрочности на этапе испытаний готового изделия приводит к необходимости дорогостоящих доработок (изменение геометрии платы, введение дополнительных креплений, применение демпфирующих материалов) и затягиванию сроков вывода продукции на рынок.

Возможности и проблемы компьютерного моделирования. Современные системы автоматизированного инженерного анализа (CAE) позволяют перенести оценку динамических характеристик печатных плат на ранние этапы проектирования. Модальный анализ, реализуемый в таких программных комплексах, как ANSYS, SOLIDWORKS Simulation, COMSOL Multiphysics, дает возможность определить собственные частоты и формы колебаний конструкции, выявить зоны наибольших деформаций и оценить запасы по резонансным частотам.

Эффективность компьютерного моделирования определяется рядом факторов: достоверностью исходных данных о физико-механических свойствах материалов (стеклотекстолит FR-4, медь, припой, корпуса компонентов); адекватностью выбора расчетных схем и граничных условий (способы крепления платы, наличие демпфирующих элементов); качеством конечно-элементной сетки, особенно в зонах концентрации напряжений; учетом влияния установленных компонентов на общую жесткость и распределение масс.

В открытых источниках недостаточно представлены систематические исследования по моделированию собственных частот колебаний печатных плат многоканальных контроллеров управления сервомоторами, учитывающие реальную конструктивную сложность таких устройств. Отсутствуют количественные оценки влияния различных факторов (способ крепления, наличие тяжелых компонентов, конструкция корпуса) на динамические характеристики платы.

Основная часть. Для проведения анализа была использована трёхмерная модель печатной платы контроллера с размещёнными на ней электронными компонентами. Модель включает саму плату, разъёмы, микроконтроллер и другие элементы, влияющие на массу и жесткость конструкции. На первом этапе моделирование выполнялось в программе

SolidWorks. Для этого была создана геометрическая модель платы с учетом всех основных элементов. Далее был подключен модуль *Simulation*, который позволяет выполнять инженерные расчёты [2, 6].

В качестве типа исследования был выбран частотный анализ. Такой тип анализа используется для определения собственных частот и форм колебаний конструкции. Особое внимание было уделено заданию материалов. Для печатной платы был выбран материал, соответствующий стеклотекстолиту, а для компонентов – материалы с учетом их свойств. Это важно, так как масса и жесткость напрямую влияют на результат. Граничные условия задавались в виде закрепления платы в местах крепежных отверстий. Такой подход позволяет приблизить модель к реальным условиям эксплуатации. После этого была построена конечно-элементная сетка. Чем качественнее сетка, тем точнее результат, однако увеличивается время расчета. После завершения настройки был выполнен расчет [8].

По результатам анализа в *SolidWorks* была получена собственная частота равная 1219,5 Гц, представленная на рисунке 1:

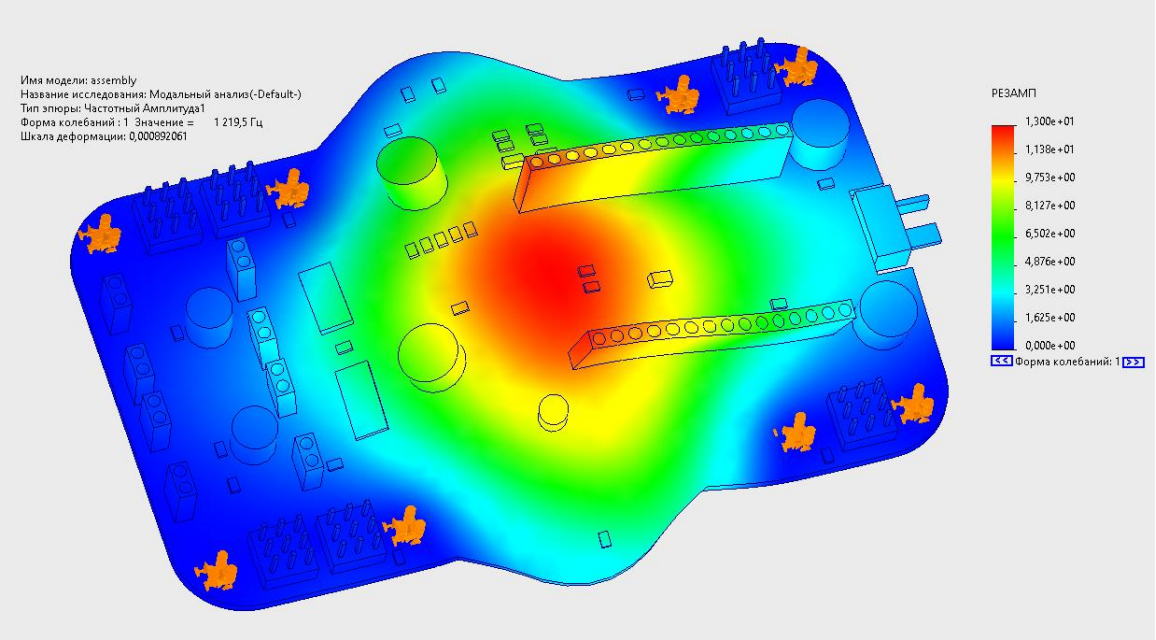


Рисунок 1 – Результат моделирования в программе *SolidWorks*

Также была определена форма колебаний. Анализ показал, что наибольшие перемещения возникают в центральной части платы. Это связано с тем, что края закреплены, а середина имеет меньшую жесткость.

Далее аналогичный анализ был выполнен в программе *COMSOL*. Эта система позволяет более гибко настраивать параметры расчета и учитывать различные физические процессы.

Для проведения анализа была использована та же геометрическая модель. В модуле *Structural Mechanics* был выбран режим расчета собственных частот. Как и в предыдущем случае, были заданы материалы, построена расчетная сетка и заданы граничные условия. Важно отметить, что совпадение условий необходимо для корректного сравнения результатов.

После выполнения расчета была получена собственная частота равная 1106,6 Гц, представленная на рисунке 2:

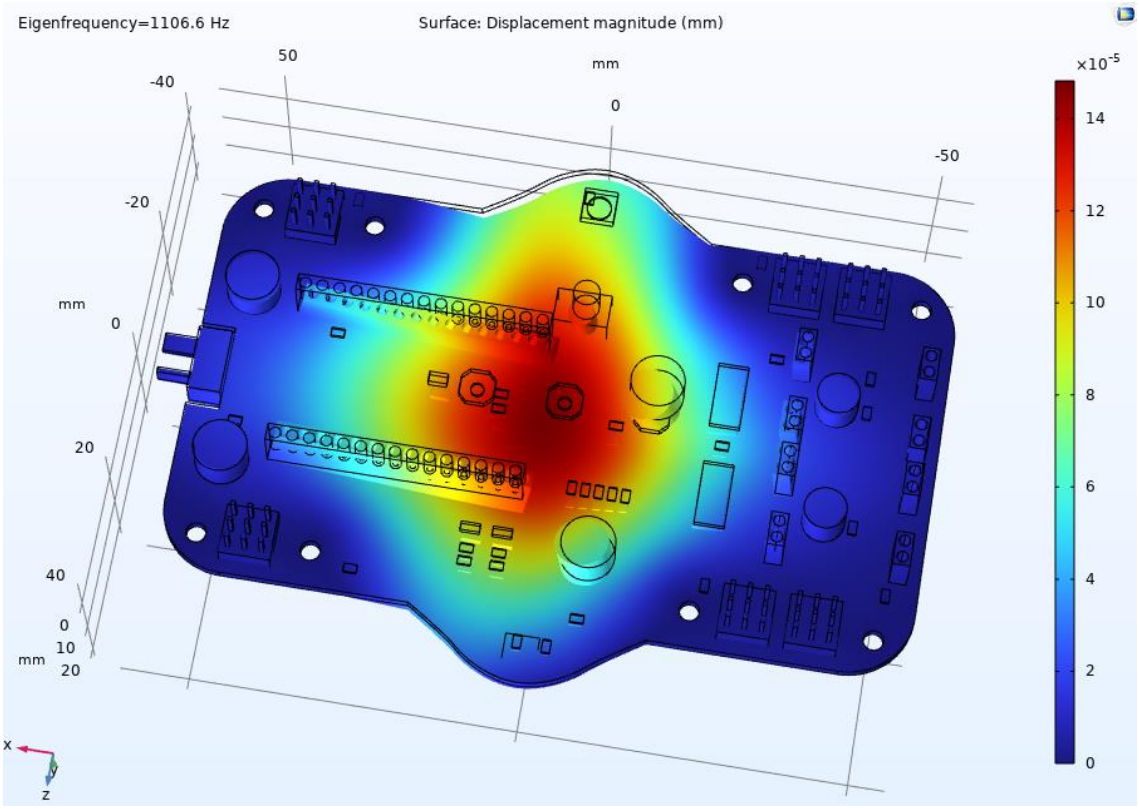


Рисунок 2 – Результат моделирования в программе *Comsol*

По результатам моделирования установлено, что собственная частота колебаний печатной платы составляет 1219,5 Гц в программном комплексе *SolidWorks* и 1106,6 Гц в *COMSOL*. Различие между полученными значениями составляет около 9,3 %, что объясняется различиями в используемых численных методах, особенностями построения расчётной сетки и алгоритмами, применяемыми в данных программных продуктах.

Несмотря на расхождение численных результатов, формы колебаний в обоих случаях оказались схожими. Максимальные деформации наблюдаются в центральной части печатной платы, в то время как области крепления остаются наименее подверженными перемещениям. Это свидетельствует о корректности выполненного моделирования и адекватности выбранных условий расчёта.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что исследуемая конструкция обладает достаточной механической жёсткостью, однако центральная область платы является наиболее нагруженной и может потребовать дополнительного усиления при необходимости повышения надёжности устройства. В целом проведённый анализ показывает, что использование *SolidWorks* удобно для быстрого получения оценочных результатов, тогда как *COMSOL* предоставляет более широкие возможности для детального инженерного анализа. Совместное применение данных программных средств позволяет повысить точность и достоверность расчётов при проектировании печатных плат.

Список литературы

1. *Segatello, M. Hexapod con ESP32 / M. Segatello // Elettronica In.– №283. – С. 63-77.*

2. *Зиновьев, Д. В. Основы моделирования в SolidWorks / Д. В. Зиновьев. – Москва : ДМК Пресс, 2017. – 240 с.*

3. Алексеев, В. Ф. Моделирование тепловых полей электронных систем в среде ANSYS / В. Ф. Алексеев, Д. В. Лихачевский, Г. А. Пискун // BIG DATA and Advanced Analytics = BIG DATA и анализ высокого уровня: сборник материалов VI Международной научно-практической конференции, Минск, 20–21 мая 2020 г. : в 3 ч. Ч. 3 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники [и др.] ; редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск, 2020. – С. 282–286.

4. Алексеев, В. Ф. Методика численного моделирования тепловых процессов в микроэлектронных структурах / В. Ф. Алексеев, Д. В. Лихачевский, Г. А. Пискун // BIG DATA and Advanced Analytics = BIG DATA и анализ высокого уровня: сб. материалов VI Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 20–21 мая 2020 г. : в 3 ч. Ч. 3 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники [и др.] ; редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск, 2020. – С. 34–37.

5. Программное обеспечение инженерного моделирования физических процессов. Лабораторный практикум. В 2 ч. Ч. 1 : Тепловые режимы работы и защиты конструкций РЭС от механических воздействий : пособие / В. Ф. Алексеев, И. Н. Богатко, Г. А. Пискун. – Минск : БГУИР, 2017. – 124 с.

6. *Введение в COMSOLMultiphysics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cdn.comsol.com/doc/5.4/IntroductionToCOMSOLMultiphysics.ru_RU.pdf. – Дата доступа: 20.03.2026.*

7. *Частотный анализ[Электронный ресурс]. – Режим* доступа:https://help.solidworks.com/2021/Russian/SolidWorks/cworks/c_Frequency_Analysis.htm – Дата доступа: 27.03.2025.

8. G.A. Dymov, V.P. Belichenko. The main structural element o f a reinforced concrete *support: mathematical modelingof mechanical vibrations / / Journal of Physics: Conference Series. – 2021.*

UDC 004.94:621.396.6:534.1

COMPARATIVE ANALYSIS OF MODELING THE NATURAL FREQUENCY OF A MULTI-CHANNEL SERVO MOTOR CONTROL PCB IN SOLIDWORKS AND COMSOL

Bystrou M.Y.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Alexseev V.F. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. This paper considers the process of determining the natural frequencies of a printed circuit board (PCB) of an electronic servo motor control unit. The analysis was performed using two software tools – SolidWorks and COMSOL. During the simulation, a three-dimensional model of the PCB with mounted components was created, material properties and boundary conditions were defined, and a frequency analysis was carried out.

As a result, it was found that the natural frequency of the structure is 1219.5 Hz in SolidWorks and 1106.6 Hz in COMSOL. A comparison of the results was performed and the differences were evaluated. It is shown that despite some discrepancies, both programs demonstrate a similar behavior of the structure.

Keywords: printed circuit board, natural frequency, frequency analysis, vibrations, modeling, SolidWorks, COMSOL

УДК 004.94:621.396.6:534.1

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛИРОВАНИЯ СОБСТВЕННОЙ ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЙ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ МОЩНОГО POWER BANK ДЛЯ НОУТБУКА И ГАДЖЕТОВ В ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСАХ SOLIDWORKS И COMSOL

Ходас В.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Алексеев В.Ф. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. Экспериментально исследованы методы оценки собственной частоты колебаний печатной платы мощного *power bank* для ноутбука и гаджетов с электронными компонентами на ней с помощью программных пакетов *SolidWorks* и *Comsol*. Установлено, что собственная частота колебаний печатной платы в программе *SolidWorks* составила 198 Гц, в программе *Comsol* – 209 Гц. Сделан вывод о необходимости использования каждой из программ для решения определенных инженерных задач в зависимости от входных данных.

Ключевые слова: *SolidWorks*, *Comsol*, печатная плата, инженерное моделирование, собственная частота, частотный анализ

Введение. Современные электронные устройства, такие как мощные *power bank* для ноутбуков и гаджетов, требуют высокой надежности при различных нагрузках. Механические характеристики печатных плат определяют, в основном, надежность всего устройства в целом. Ключевым аспектом обеспечения механической устойчивости печатной платы является анализ собственных частот колебаний, предотвращающий явление резонанса.

В статье автором показано, что каждый программный комплекс имеет свои преимущества и недостатки, а также разные подходы к решению инженерных задач, что обеспечивает минимальную погрешность результатов в сравнении друг с другом.

Основная часть. Сравнительный анализ *SolidWorks* и *COMSOL* в контексте моделирования собственных частей колебаний печатных плат выявляет ключевые различия между этими программами при решении инженерных задач. *SolidWorks* выигрывает за счет простоты использования и интуитивного интерфейса для твердотельного моделирования, но уступает в глубине детального инженерного анализа. *COMSOL*, напротив, предлагает высокую точность расчетов, хотя и требует больше времени на освоение из-за менее удобного интерфейса [1–5].

Для проведения сравнительного анализа было выбрано современное устройство с высокой плотностью элементов на плате. Первоначально в *SolidWorks* была построена твердотельная геометрическая модель мощного *power bank* для ноутбука и гаджетов, включая все электронные компоненты (рисунок 1).

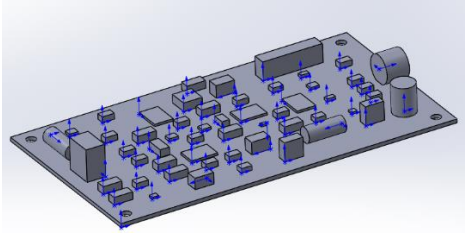


Рисунок 1 – Геометрическая модель платы мощного power bank для ноутбука и гаджетов

С помощью модуля «*Simulation*» программного комплекса *SolidWorks* был создан новый проект с типом исследования «Частота». Для каждого электронного компонента был задан свой материал, как и для печатной платы. Граничными условиями в виде фиксированной геометрии являются крепежные отверстия по углам платы. Создание сетки данной модели позволило завершить настройку проекта и перейти к расчету. Результат моделирования представлен на рисунке 2.

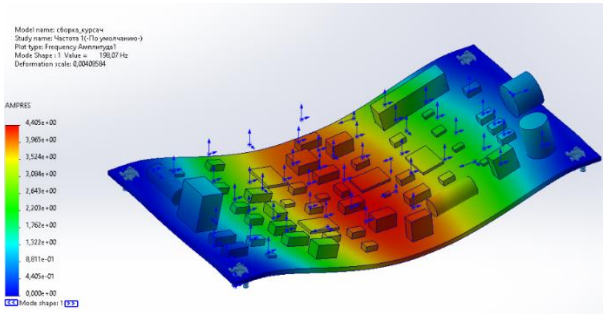


Рисунок 2 – Результат моделирования в программе SolidWorks

По результатам проведенного моделирования в программе *SolidWorks* собственная частота колебаний печатной платы мощного power bank для ноутбука и гаджетов с электронными компонентами на ней составила 198 Гц.

COMSOL является интегрированной средой моделирования, позволяющей использовать геометрические модели из других популярных *CAD*-систем, таких как, например, *SolidWorks*. Использовав уже готовую твердотельную модель печатной платы с электронными компонентами на ней с помощью модуля «*Structural Mechanics*» и типа исследования «*Eigenfrequency*», был создан новый проект. По аналогии с настройкой моделирования в *SolidWorks* для каждого элемента, включая печатную плату, были заданы материалы и создана сетка. Граничные условия в виде фиксированной геометрии не изменились. Результат моделирования представлен на рисунке 3.

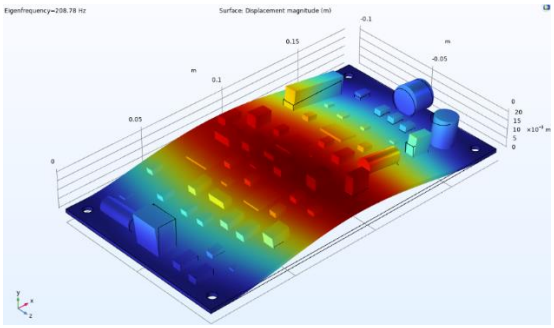


Рисунок 3 – Результат моделирования в программе Comsol

По результатам проведенного моделирования в программе *Comsol* собственная частота колебаний печатной платы мощного *power bank* для ноутбука и гаджетов с электронными компонентами на ней составила 209 Гц.

Заключение. Сравнительный анализ моделирования собственных частот колебаний печатной платы мощного *power bank* для ноутбука и гаджетов в программных комплексах *SolidWorks* и *COMSOL* показал различия в подходах и результатах. *SolidWorks* обеспечивает простоту использования и интуитивно понятный интерфейс, что делает его удобным для базового проектирования и анализа. *COMSOL*, в свою очередь, предлагает более высокую точность и гибкость в решении сложных инженерных задач, что делает его предпочтительным выбором для детализированного моделирования. Использование *COMSOL* позволило

получить более детальные и точные результаты, несмотря на более сложный и настраиваемый интерфейс.

По результатам исследования собственная частота колебаний печатной платы мощного *power bank* для ноутбука и гаджетов с электронными компонентами на ней составила 198 Гц в программном комплексе *SolidWorks* и 209 Гц – в программном комплексе *COMSOL*. Погрешность результатов друг относительно друга составила 5,2 %.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что *SolidWorks* является программой, предназначенной в первую очередь для твердотельного моделирования, но способной справляться с простыми инженерными задачами наравне с более сложными и специализированными программными продуктами. Примером такого программного продукта может служить *COMSOL*. Эта программа имеет более сложный интерфейс и не предназначена для твердотельного моделирования, однако более оптимизирована для решения инженерных задач любой сложности.

Кроме того, геометрическая модель может быть создана средствами программы *SolidWorks*, а численное моделирование проведено средствами *COMSOL*. Данное решение является наиболее оптимальным для решения инженерных задач любого вида и сложности.

Список литературы

1. *Amy, R Reliability analysis of electronic equipment subjected to shock and vibration / R Amy, G Aglietti, G Richardson // Shock and Vibration. – 2009. – № 16. – С. 45-59.*

2. *Программное обеспечение инженерного моделирования физических процессов. Лабораторный практикум. В 2 ч. Ч. 1 : Тепловые режимы работы и защиты конструкций РЭС от механических воздействий : пособие / В. Ф. Алексеев, И. Н. Богатко, Г. А. Пискун. – Минск : БГУИР, 2017. – 124 с.*

3. *Алексеев, В. Ф. Моделирование тепловых полей электронных систем в среде ANSYS / В. Ф. Алексеев, Д. В. Лихачевский, Г. А. Пискун // BIG DATA and Advanced Analytics = BIG DATA и анализ высокого уровня: сборник материалов VI Международной научно-практической конференции, Минск, 20–21 мая 2020 г. : в 3 ч. Ч. 3 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники [и др.] ; редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск, 2020. – С. 282–286.*

4. *Алексеев, В. Ф. Методика численного моделирования тепловых процессов в микроэлектронных структурах / В. Ф. Алексеев, Д. В. Лихачевский, Г. А. Пискун // BIG DATA and Advanced Analytics = BIG DATA и анализ высокого уровня: сб. материалов VI Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 20–21 мая 2020 г. : в 3 ч. Ч. 3 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники [и др.] ; редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск, 2020. – С. 34–37.*

5. *G.A. Dymov, V.P. Belichenko. The main structural element o f a reinforced concrete support: mathematical modeling of mechanical vibrations / / Journal of Physics: Conference Series. – 2021.*

UDC 004.94:621.396.6:534.1

COMPARATIVE ANALYSIS OF MODELING THE NATURAL FREQUENCY OF VIBRATION OF A POWERFUL POWER BANK FOR LAPTOP AND GADGETS PCB IN SOLIDWORKS AND ANSYS SOFTWARE SUITES

Khodas V.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Alexseev V.F. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. Methods for estimating the natural frequency of oscillations of a PCB of a powerful power bank for a laptop and gadgets with electronic components on it were experimentally studied using the SolidWorks and Comsol software packages. It was found that the natural vibration frequency of the printed circuit board in the SolidWorks program was 198 Hz, in the Comsol program - 209 Hz. It is concluded that it is necessary to use each of the programs to solve certain engineering problems depending on the input data.

Keywords: SolidWorks, Comsol, Printed Circuit Board (PCB), Engineering Modeling, Natural Frequency, Frequency Analysis

УДК 621.396.6

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОЩНОГО HI-FI УСИЛИТЕЛЯ ЗВУКА НА ОСНОВЕ МИКРОСХЕМЫ STK4231 В ГЕРМЕТИЧНОМ КОРПУСЕ

Коротков А.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Алексеев В.Ф. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. В статье представлен общетехнический анализ проектируемого усилителя мощности звуковой частоты. Выполнен анализ существующих технических решений, обоснован выбор оптимальной схемотехнической реализации. Особое внимание уделено вопросам обеспечения теплового режима работы усилителя, включая моделирование тепловых процессов и выбор эффективных систем охлаждения с учетом требований герметичного корпуса.

Ключевые слова: усилитель звука, Hi-Fi, проектирование

Введение. Усилители звука являются ключевыми компонентами современных аудиосистем, предназначенными для увеличения амплитуды звукового сигнала и обеспечения его воспроизведения через акустические системы. *Hi-Fi* усилители звука, в частности, отличаются высокой точностью воспроизведения и минимальными искажениями, что делает их востребованными в различных областях, включая музыкальную индустрию, кино, телевидение и домашние аудиосистемы. Современные усилители могут иметь различные конструкции и технологии, включая ламповые и транзисторные модели, а также цифровые усилители, которые обеспечивают высокое качество звука и энергоэффективность. Важно отметить, что выбор усилителя зависит от конкретных задач и условий использования, таких как тип акустической системы, размер помещения и желаемый уровень громкости.

Общетехнический анализ проектируемого устройства. Усилитель звука – это устройство, предназначенное для увеличения амплитуды аудиосигнала, поступающего от источника (например, проигрывателя или компьютера), чтобы обеспечить его воспроизведение через акустическую систему. Мощные усилители способны выдавать до 1000 Вт, что позволяет им эффективно управлять большими динамиками и обеспечивать громкий и качественный звук.

Помимо основной функции, усилители выполняют замену аналогового сигнала в импульсный для будущей обработки цифровым блоком.

Устройство помогает настроить данные производимых устройств, уменьшить потребление электроэнергии, при этом лишь улучшая работоспособность. Заряжается усилитель благодаря блокам питания, которые бывают встроенные и выносные, а также делятся на классы *A, B, AB, C* [1].

В статье рассматривается транзисторный усилитель (рисунок 1), в котором основными преимуществам использования являются [2]:

– мгновенная готовность к работе (устройство начинает работать сразу же после запуска и не требует прогрева);

– прочность (транзисторный усилитель в зависимости от лампового обладает высоким показателем механической прочности, что делает его более надежным и практичным для использования);

– доступная стоимость транзистора (благодаря этому не только снижается стоимость прибора, но и цена ремонтных работ при выходе из строя транзисторов);

– длительный срок службы (ламповые усилители мощности служат долго, но их срок службы все равно ограничен, это связано с потерей эмиссии у ламп. Транзисторы перегорают

редко и даже в этом случае для восстановления работоспособности устройства достаточно заменить недорогие транзисторы новыми и усилитель снова готов к работе);

– компактные размеры (это связано с небольшим весом и размерам транзисторов, благодаря малому весу и габаритам устройство проще транспортировать и легче найти для него место среди звуковой аппаратуры);

– отсутствие необходимости использовать выходной трансформатор (это позволяет добиться характеристик, которые невозможных у ламповых усилителей).

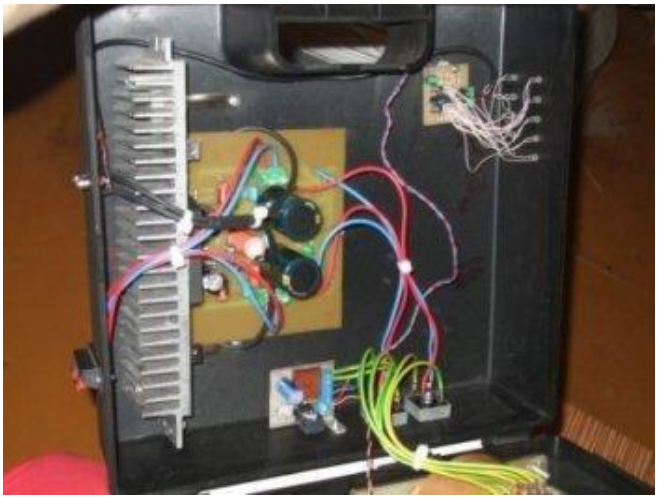


Рисунок 1 – Внешний вид устройства

Устройство эксплуатируется в лабораторных, капитальных жилых и других подобного типа помещениях, поэтому целесообразно выбрать устойчивость к климатическим воздействиям по ГОСТ 15150-69 УХЛ 4.2.

Для моделирования тепловой картины поля будет использоваться программа *ELCUT* – это компьютерная программа для проведения инженерного анализа и двумерного моделирования методом конечных элементов [7–12].

Описание принципа работы анализируемого устройства. Транзисторный усилитель мощности звука – это устройство, которое усиливает электрические аудиосигналы, чтобы обеспечить мощность, необходимую для воспроизведения звука. Принцип работы такого усилителя основан на использовании транзисторов как активных элементов, которые изменяют свои характеристики под воздействием входного сигнала, а именно (рисунок 2) [3]:

– сигнал поступает на вход предварительного усилителя, который обрабатывает и усиливает его до нужного уровня. Этот этап важен для подготовки сигнала к дальнейшему усилению, так как он обеспечивает необходимую величину входного сопротивления и минимизирует нагрузку на источник сигнала. Предварительный усилитель также помогает снизить уровень шумов, что критично для достижения чистоты звука;

– усилитель состоит из нескольких каскадов, каждый из которых последовательно усиливает сигнал. Выход одного каскада подключается к входу следующего, что позволяет многократно увеличить мощность сигнала. Каждый каскад может быть настроен на определенное значение усиления, что дает возможность контролировать выходной сигнал и снижать искажения;

– транзисторы в усилителе изменяют свое сопротивление в ответ на входной сигнал. Это свойство позволяет им управлять потоком тока от источника питания к нагрузке, обеспечивая тем самым необходимую мощность на выходе. Транзисторы работают в линейном режиме, что минимизирует искажения и позволяет достичь высокого качества звука;

– после прохождения через все каскады, на выходе получается мощный сигнал, который передается на акустические системы для воспроизведения звука. Этот сигнал должен быть как можно менее искаженным, чтобы обеспечить качественное звучание.

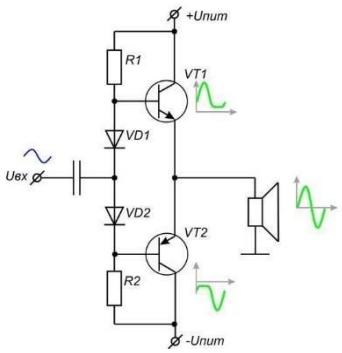


Рисунок 2 – Схема преобразования сигналов в усилителе мощности звука

В нашем случае транзисторный усилитель мощности звука имеет выходную мощность 100 Вт и диапазон воспроизводимых частот 0,02–20 кГц. Из этого следует, что данное устройство больше подходит для не очень больших помещений [4].

Анализ элементарной базы устройства. Схема электрическая принципиальная транзисторного моноусилителя звука на микросхеме *STK4231* (рисунок 3) включает в себя следующие основные компоненты:

– микросхема *STK4231*: является основным элементом усилителя и отвечает за усиление звукового сигнала;

– резисторы: используются для установки необходимых режимов работы транзисторов и формирования частотной характеристики усилителя;

– конденсаторы: применяются для разделения каскадов усилителя по постоянному току и формирования частотной характеристики;

– транзисторы: используются в качестве активных элементов для усиления звукового сигнала;

– диоды: применяются для защиты усилителя от перенапряжений и обратной полярности.

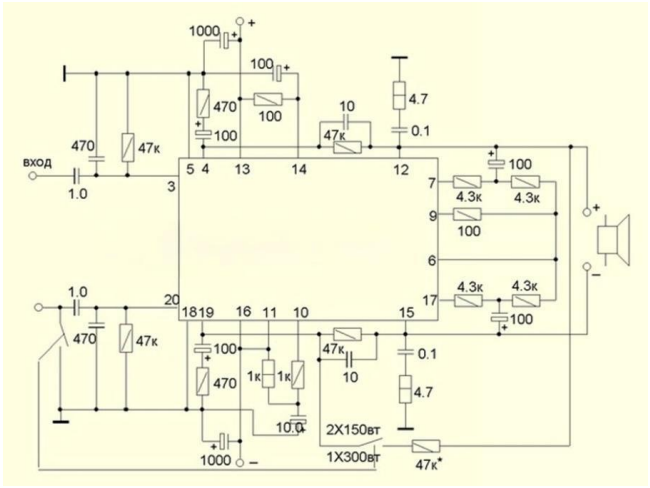


Рисунок 3 – Схема электрическая принципиальная усилителя мощности звука на микросхема STK4231

Для наглядного представления температур при различных тепловых режимах работы были составлены аналоги тепловых моделей с помощью программного комплекса *ELCUT* [11]. Для получения конечного результата в виде наглядной картины теплового поля в типе задач «теплопередача стационарная» можно настроить условия для отдельных участков модели. При всем этом, так же можно обозначить не только место нагревания на плате и теплопроводность элементов, но и настроить граничные условия для каждого из них.

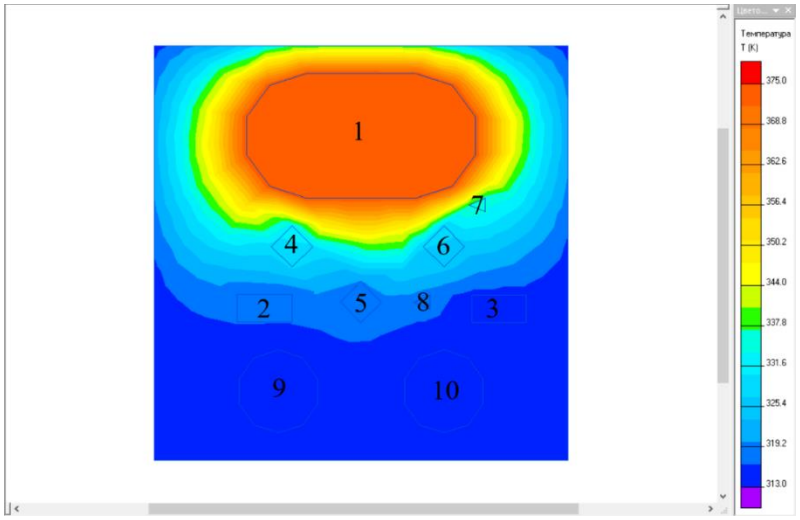


Рисунок 4 – Тепловая картина поля в герметичном корпусе
1 – микросхема STK4231; 2, 3 – резисторы; 4 – 10 – конденсаторы

Герметичный корпус для РЭС представляет собой защитную оболочку, обеспечивающую изоляцию внутренних компонентов от внешних факторов, таких как влага, пыль и механические повреждения. Эти корпуса изготавливаются из прочных материалов, устойчивых к коррозии, и проектируются с учетом климатических условий, что позволяет им функционировать в широком температурном диапазоне [5].

Тепловая картина, представленная на рисунке 4, показывает, что максимальная температура внутри герметичного корпуса достигает 375 К (или 102 °С), что ниже рабочей температуры транзистора, равной 423 К (или 150 °С). В то же время температура окружающей среды вокруг элемента, вызванная нагревом чипа, достигает 362,6 К (соответствует 89,6 °С). Температура в нагретой зоне составляет 325,4 К (эквивалентно 52,4 °С). Этот тип охлаждения является наименее эффективным: хотя температура микросхемы *STK4231* не достигает предельной рабочей температуры, температура нагретой зоны близка к рабочей температуре некоторых компонентов. Это может привести к сокращению их срока службы при длительной эксплуатации в таких условиях.

Заключение. В заключение следует подчеркнуть, что общетехнический анализ является неотъемлемой частью процесса проектирования любого современного устройства. Он позволяет не только определить оптимальные технические решения, но и научно обосновать их, обеспечивая высокую надежность, экономическую эффективность и конкурентоспособность разрабатываемого продукта. Комплексный анализ исходных данных, существующих аналогов, выбор принципа действия и структуры устройства, разработка принципиальной схемы, расчет основных параметров, конструирование устройства и оценка экономической эффективности представляют собой взаимосвязанные этапы проектирования, обеспечивающие успешную реализацию проекта. Представленный в данной статье общетехнический анализ разрабатываемого устройства позволил определить основные направления дальнейших исследований и разработок, а также оценить потенциальные преимущества предлагаемого решения с учетом существующих технологических ограничений и экономических факторов.

Список литературы

1. *Зачем нужен усилитель звука. [Online resource] – 2025. – Access mode: https://droidone.ru/zachem-nuzhen-usilitel-zvuka*
2. *STK4231II Datasheet (PDF) - Sanyo Semicon Device [Online resource] – 2025. – Access mode: https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/41608/SANYO/STK4231II.html*
3. *Rotkop L.L., Spokoyny Yu.E. Ensuring thermal regimes in the design of radio electronic equipment: study guide. Moscow : Glavpochtamt, 1976. – 231 p.*
4. *Усилитель мощности звука [Online resource] – 2025. – Access mode: https://radioskot.ru/publ/unch/usilitel_moshhnosti_zvuka/6-1-0-203*
5. *Power Amplifier [Online resource] – 2024. – Access mode: https://trueconf.ru/blog/wiki/usilitel-moshhnosti-zvuka*

6. *Оптимизация теплового режима приемо-передающего устройства по результатам моделирования тепловых процессов в среде SolidWorks Flow Simulation / Пискун Г. А., Алексеев В. Ф., Романовский П. С., Стануль А. А. // Znanstvena misel journal. – 2019. – Vol. 1, № 35. – P. 47–60.*

7. *Алексеев, В. Ф. Методика численного моделирования тепловых процессов в микроэлектронных структурах / В. Ф. Алексеев, Д. В. Лихачевский, Г. А. Пискун // BIG DATA and Advanced Analytics = BIG DATA и анализ высокого уровня: сб. материалов VI Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 20–21 мая 2020 г. : в 3 ч. Ч. 3 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники [и др.] ; редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск, 2020. – С. 34–37.*

8. *Алексеев, В.Ф. Принципы конструирования и автоматизации проектирования РЭУ: Учеб. пособие / В.Ф.Алексеев.- Мн.: БГУИР, 2003. - 197 с.*

9. *Алексеев, В. Ф. Программная реализация процесса оценки теплового режима средства медицинской электроники / В. Ф. Алексеев, Д. В. Лихачевский, Г. А. Пискун // Медэлектроника – 2018. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии : сборник научных статей XI Международная научно-техническая конференция, Минск, 5–6 декабря 2018 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2018. – С. 255-258.*

10. *Программное обеспечение инженерного моделирования физических процессов. Лабораторный практикум. В 2 ч. Ч. 1 : Тепловые режимы работы и защиты конструкций РЭС от механических воздействий : пособие / В. Ф. Алексеев, И. Н. Богатко, Г. А. Пискун. – Минск : БГУИР, 2017. – 124 с.*

11. *Алексеев, В. Ф. Физические основы проектирования радиоэлектронных средств. Лабораторный практикум : пособие в 2 ч. Ч. 1 : Моделирование физических процессов в радиоэлектронных средствах с помощью программных комплексов / В. Ф. Алексеев, Г. А. Пискун. – Минск : БГУИР, 2016. – 70 с.*

12. *Физические основы проектирования радиоэлектронных средств. Лабораторный практикум. В 2 ч. Ч. 2 : Исследование физических процессов в конструкциях РЭС : пособие / В. Ф. Алексеев, Г. А. Пискун, И. Н. Богатко. – Минск : БГУИР, 2017. – 74 с.*

UDC 621.396.6

THE PHYSICAL BASICS OF DESIGNING A POWERFUL HI-FI SOUND AMPLIFIER BASED ON THE STK4231 MICROCIRCUIT IN A SEALED CASE

Korotkov A.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Alexseev V.F. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. This paper presents a general technical analysis of the projected audio frequency power amplifier. The analysis of existing technical solutions is carried out, the choice of optimal circuit design is justified. Special attention is paid to the issues of ensuring the thermal operation of the amplifier, including the modeling of thermal processes and the selection of efficient cooling systems, taking into account the requirements of a sealed enclosure.

Keywords: sound amplifier, Hi-Fi, design

УДК 621.3.049.77:004.942

АНАЛИЗ МОДЕЛИРОВАНИЯ СОБСТВЕННОЙ ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЙ ОТЛАДОЧНОЙ ПЛАТЫ С МИКРОКОНТРОЛЛЕРОМ MG32F103RBT6

Кот Я.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Ящук В.А. – магистр, ассистент кафедры ПИКС

Аннотация. В работе проведён сравнительный анализ методов определения собственной частоты колебаний отладочной платы с микроконтроллером *MG*32*F*103*RBT*6, содержащей набор периферийных элементов (дисплей, датчики, память, интерфейсы). Моделирование выполнено в программных комплексах *SolidWorks*, *Ansys* и *Comsol*. Полученные значения собственной частоты составили: 486,19 Гц (*SolidWorks*), 500,11 Гц (*Ansys*), 491,13 Гц (*Comsol*). Максимальное расхождение результатов не превысило 2,8 %, что подтверждает корректность применяемых моделей.

Ключевые слова: печатная плата, отладочная плата, *SolidWorks, Ansys, Comsol,* собственная частота, частотный анализ

Введение. Современные отладочные платы микроконтроллеров представляют собой сложные электронные устройства, включающие большое количество компонентов: микроконтроллер, элементы питания, интерфейсы связи, датчики и индикаторы. Надёжность таких устройств во многом определяется механической устойчивостью печатной платы [1–8].

Наличие большого числа компонентов приводит к неравномерному распределению массы и жёсткости, что делает задачу анализа собственных частот особенно актуальной. Это необходимо для предотвращения резонансных явлений при эксплуатации устройства.

Основная часть. Исследуемая отладочная плата представляет собой электронный модуль с установленными на ней компонентами различной массы и геометрии. Наличие как малогабаритных *SMD*-компонентов, так и относительно массивных элементов приводит к сложной структуре распределения масс, что необходимо учитывать при моделировании.

Для проведения анализа была построена трёхмерная геометрическая модель платы с учетом основных компонентов. При этом каждому элементу были назначены соответствующие физико-механические свойства, включая плотность, модуль упругости и коэффициент Пуассона. В качестве материала печатной платы использовался стеклотекстолит, а для компонентов применялись усреднённые характеристики полупроводниковых и металлических материалов. Граничные условия задавались в виде фиксирования платы в областях крепёжных отверстий, что соответствует реальным условиям её монтажа (рисунок 1) [2].

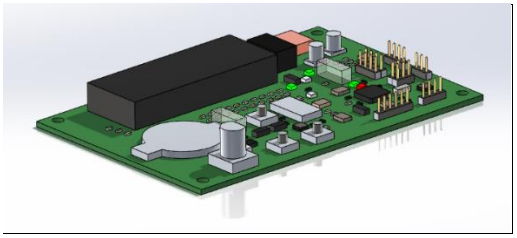


Рисунок 1 – Модель платы

В программном комплексе *SolidWorks* (рисунок 3) моделирование проводилось с использованием модуля *Simulation* в режиме частотного анализа. Данный подход позволяет

относительно быстро получить оценку собственных частот конструкции при сравнительно простой настройке модели. В результате расчёта было установлено, что первая собственная частота колебаний платы составляет 486,19 Гц. Следует отметить, что *SolidWorks* ориентирован в первую очередь на твердотельное моделирование, поэтому при анализе могут использоваться упрощённые допущения, влияющие на точность результатов [4].

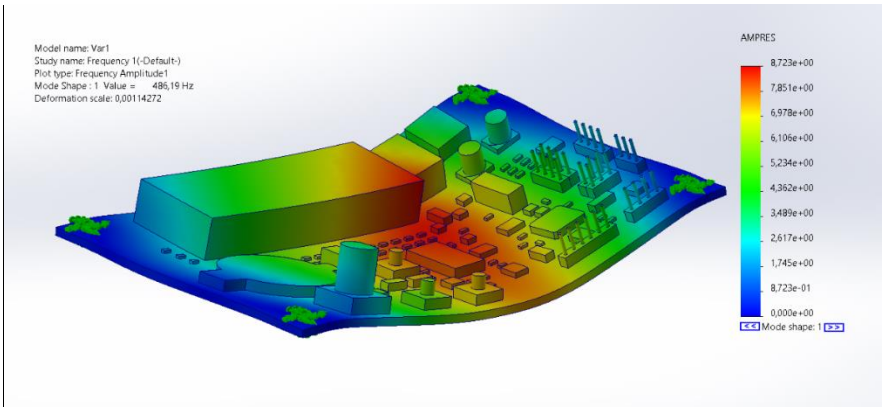


Рисунок 2 – Результат моделирования в программе *SolidWorks*

Дальнейший анализ был выполнен в программном комплексе *Ansys* (рисунок 3), который предоставляет более широкие возможности для конечно-элементного моделирования. Геометрическая модель была импортирована из *SolidWorks*, после чего выполнена генерация более детализированной сетки конечных элементов. Особое внимание уделялось корректному заданию контактных взаимодействий и распределения масс компонентов. В результате проведённого анализа собственная частота колебаний составила 500,11 Гц. Полученное значение несколько выше результата *SolidWorks*, что объясняется более точным учётом жесткости конструкции и особенностей взаимодействия элементов [3, 5].

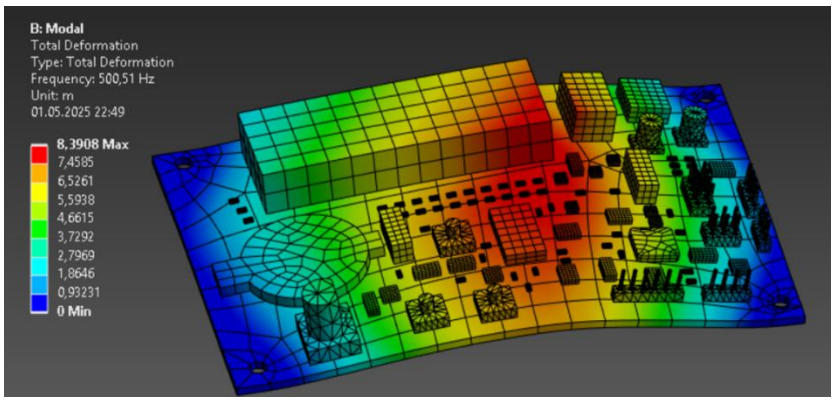


Рисунок 3 – Результат моделирования в программе *Ansys*

В программной среде *Comsol Multiphysics* (рисунок 4) также был выполнен модальный анализ с использованием аналогичных исходных данных. *Comsol* позволяет учитывать мультифизические эффекты, однако в рамках данной работы рассматривалась только механическая составляющая. Результат расчёта показал, что собственная частота равна 491,13 Гц, что находится между значениями, полученными в *SolidWorks* и *Ansys*. Это свидетельствует о сбалансированности используемой модели и адекватности принятых допущений.

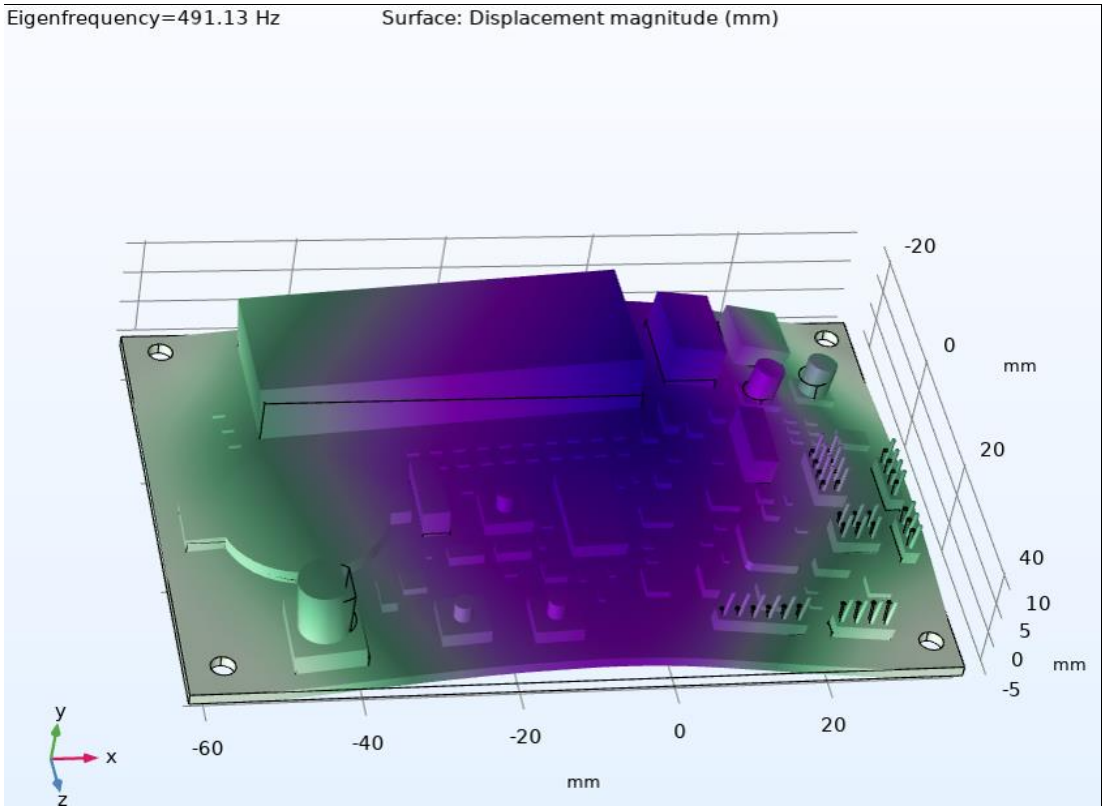


Рисунок 4 – Результат моделирования в программе *Comsol*

Сравнение результатов показывает, что все три программных комплекса дают близкие значения собственной частоты, несмотря на различия в алгоритмах расчёта и уровне детализации моделей. Максимальное расхождение между результатами составляет 2,8 %, что можно считать допустимым для инженерных расчётов данного типа. Небольшие различия объясняются особенностями реализации конечно-элементных методов, а также различиями в способах задания граничных условий и свойств материалов.

Заключение. Проведённое исследование показало, что моделирование собственной частоты колебаний отладочной платы с микроконтроллером *MG*32*F*103*RBT*6 в различных программных комплексах даёт согласующиеся результаты. Несмотря на различия в подходах к моделированию, все рассмотренные системы позволяют получить достоверную оценку динамических характеристик конструкции.

Установлено, что собственная частота колебаний исследуемой платы находится в диапазоне от 486 до 500 Гц. Полученные значения подтверждают, что конструкция обладает достаточной механической жёсткостью и не подвержена резонансным явлениям в большинстве эксплуатационных условий. *SolidWorks* может эффективно использоваться на этапе предварительного проектирования благодаря простоте применения, тогда как *Ansys* и *Comsol* обеспечивают более высокую точность расчётов и подходят для проведения детального инженерного анализа.

Список литературы

1. *Моделирование механических характеристик многослойных печатных плат средствами CAE анализа / З. Х. М. Аль-Араджи [и др.] // «Надежность и качество». – 2018. – Т. 1. – С. 224-227*

2. *Зиновьев, Д. В. Основы моделирования в SolidWorks / Д. В. Зиновьев. – Москва : ДМК Пресс, 2017. – 240 с.*

3. *Ansys Mechanical Expert Review, Pricing and Alternatives – 2025 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.worquick.com/post/ansys-review – Дата доступа: 27.03.2025.*

4. *Частотный анализ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://help.solidworks.com/2021/Russian/SolidWorks/cworks/c_Frequency_Analysis.htm – Дата доступа: 27.03.2025.*

5. *Программное обеспечение инженерного моделирования физических процессов. Лабораторный практикум. В 2 ч. Ч. 1 : Тепловые режимы работы и защиты конструкций РЭС от механических воздействий : пособие / В. Ф. Алексеев, И. Н. Богатко, Г. А. Пискун. – Минск :: БГУИР, 2017. – 124 с*

6. *Физические основы проектирования радиоэлектронных средств. Лабораторный практикум. В 2 ч. Ч. 2 : Исследование физических процессов в конструкциях РЭС : пособие / В. Ф. Алексеев, Г. А. Пискун, И. Н. Богатко. – Минск : БГУИР, 2017. – 74 с.*

7. *Алексеев, В. Ф. Методика численного моделирования тепловых процессов в микроэлектронных структурах / В. Ф. Алексеев, Д. В. Лихачевский, Г. А. Пискун // BIG DATA and Advanced Analytics = BIG DATA и анализ высокого уровня: сб. материалов VI Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 20–21 мая 2020 г. : в 3 ч. Ч. 3 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники [и др.] ; редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск, 2020. – С. 34–37.*

8. *Алексеев, В. Ф. Математическое моделирование как средство оптимизации параметров силовых интегральных микросхем / В. Ф. Алексеев, А. Д. Сыс, Г. А. Пискун // Interdisciplinary research: scientific horizons and perspectives : II International Scientific and Theoretical Conference, Vilnius, October 1, 2021 / European Scientific Platform. – Vilnius, 2021. – P. 109–113. – DOI : https://doi.org/10.36074/scientia-01.10.2021.*

UDC 621.3.049.77:004.942

ANALYSIS OF THE SIMULATION OF THE NATURAL FREQUENCY OF THE DEBUG BOARD WITH THE MG32F103RBT6 MICROCONTROLLER

Kot Y.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Yashchuk V.A. – master's degree student, Assistant Professor, Department of Information and Computer Systems Design

Annotation. The paper presents a comparative analysis of methods for determining the natural frequency of oscillation of a debugging board with an MG32F103RBT6 microcontroller, which contains a set of peripheral elements (display, sensors, memory, and interfaces). The modeling was performed using the SolidWorks, Ansys, and Comsol software packages. The obtained values of the natural frequency were 486.19 Hz (SolidWorks), 500.11 Hz (Ansys), and 491.13 Hz (Comsol). The maximum discrepancy in the results did not exceed 2.8%, which confirms the correctness of the applied models.

Keywords: PCB, debug board, SolidWorks, Ansys, Comsol, natural frequency, frequency analysis

УДК 621.396.6:004.94:536.2

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА В ГЕРМЕТИЧНОМ И ПЕРФОРИРОВАННОМ КОРПУСАХ ДЛЯ ПЛАТЫ USB-UART АДАПТЕРА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ SOLIDWORKS

Мерзляков Д. П.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Ящук В.А. – магистр, ассистент кафедры ПИКС

Аннотация. В статье представлен сравнительный анализ моделирования в программном комплексе SolidWorks (модуль Flow Simulation) теплового режима печатной платы USB-UART адаптера, размещённой в герметичном и перфорированном корпусах. Рассматриваются особенности формирования тепловых потоков в замкнутом объёме и при естественной конвекции через перфорационные отверстия, а также влияние конструктивных параметров корпуса на максимальную температуру элементов. На основе результатов теплового моделирования предлагаются рекомендации по выбору типа корпуса и граничных условий при вычислительном эксперименте для обеспечения допустимого теплового режима печатной платы USB-UART адаптера.

Ключевые слова: SolidWorks, печатная плата, инженерное моделирование, герметичный корпус, перфорированный корпус, движение потоков воздуха, тепловой режим.

Введение. Современные интерфейсные устройства, такие как USB-UART адаптеры, широко применяются в составе измерительных, коммуникационных и встраиваемых систем, что предъявляет повышенные требования к их надёжности и устойчивости к тепловым воздействиям. Для электронных модулей малой мощности перегрев компонентов, вызванный ограниченным теплоотводом, может приводить к снижению ресурса, дрейфу параметров и отказам в условиях длительной эксплуатации [1–7].

В настоящей работе показано сравнение тепловых режимов для двух типов корпусов, описан шаблон постановки и проведения моделирования, а также даны рекомендации по выбору типа корпуса для устройств схожих по габаритам и выделяемой мощности.

Основная часть. Целью исследования является сравнение карт распределения температур на печатной плате USB-UART адаптера в двух вариантах исполнения: герметичный корпус и перфорированный корпус. Основными интересующими параметрами являются максимальная температура наиболее нагруженных элементов и температура нагретой зоны.

В физическую модель теплового процесса включена теплопроводность в твёрдых телах (плата, электронные компоненты, корпус) и конвективный теплообмен между твёрдыми телами и воздухом. Само моделирование будет проводится с учетом движения воздушных потоков. В качестве источников тепла рассматриваются объёмные тепловыделения нагруженных элементов, задаваемые в соответствии с электрической мощностью нагрузки USB-UART адаптера [1].

Для проведения моделирования создается новый проект во вкладке Flow Simulation. Далее происходит настройка размерности величин, определяется тип задачи – внутренняя, выбираются процессы, которые будут учитываться при решении, а именно течение жидкости/газа, теплопроводность в твердых телах и гравитация [2].

Материал печатной платы задаётся как стеклотекстолит с медными проводящими слоями, при этом в большинстве инженерных постановок допускается использование эквивалентных изотропных свойств с усреднённой теплопроводностью. Материалы корпусов элементов выбираются в соответствии с конструктивным вариантом (пластик, керамика, алюминий), материал корпуса – ABS пластик [3-4].

Для моделирования тепловых процессов в устройстве, температура окружающей среды будет равна максимально допустимой рабочей температуре – 40°C. Такое решение позволяет убедиться в работоспособности РЭУ при самых неблагоприятных условиях.

По итогам моделирования устройства в герметичном корпусе была получена картина теплового поля, представленная на рисунке 1.

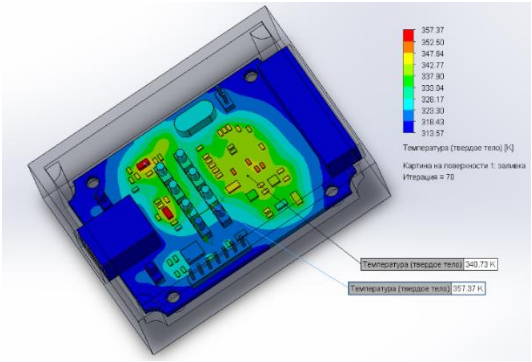


Рисунок 1 – Тепловая карта ПП в герметичном корпусе

По итогу проведенного моделирования максимальная температура на поверхности платы достигла 357K (83°C), а примерная температура нагретой зоны – 340K (66°C). Перегрев соответственно составил 43°C и 26°C.Движение потоков воздуха имело вид, представленный на рисунке 2.

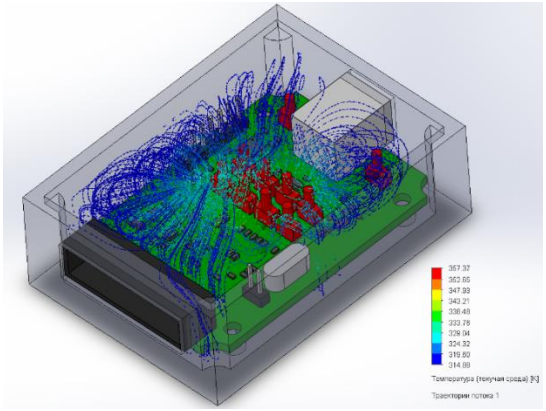


Рисунок 2 – Движение потоков воздуха в герметичном корпусе

На данном изображение можно увидеть, что примерно в центре ПП формируется восходящий поток перегретого воздуха, который охлаждается у верхней поверхности корпуса и, после остывания, расходится по краям устройства.

Для создания перфорированного корпуса, на основе (герметичном корпусе) были проделаны прямоугольные отверстия. Для возможности моделирования работы перфорационных отверстий создаются заглушки, перекрывающие все отверстия с каждой из сторон корпуса после чего им присваивается граничное условие «давление», имитирующее внешнюю среду.

По итогам моделирования устройства в герметичном корпусе была получена картина теплового поля, представленная на рисунке 3.

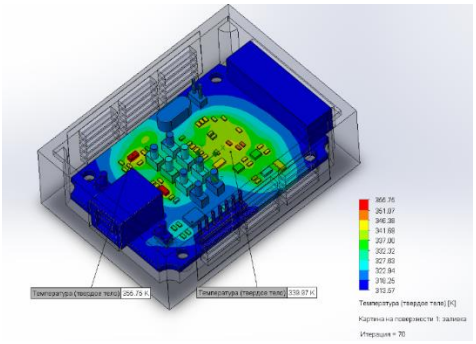


Рисунок 3 – Тепловая карта ПП в перфорированном корпусе

По итогу проведенного моделирования максимальная температура на поверхности платы достигла 355K (81°C), а примерная температура нагретой зоны – 339K (65°C). Перегрев соответственно составил 42°C и 21°C. Движение потоков воздуха имело вид, представленный на рисунках 4 и 5.

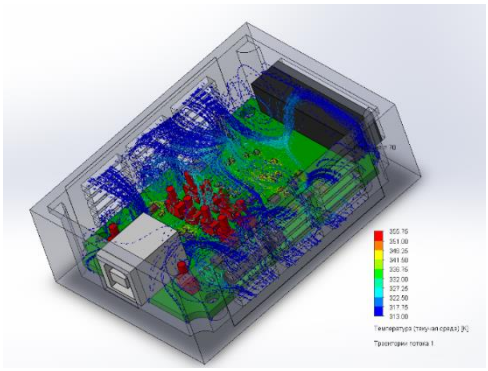


Рисунок 4 – Движение потоков воздуха в перфорированном

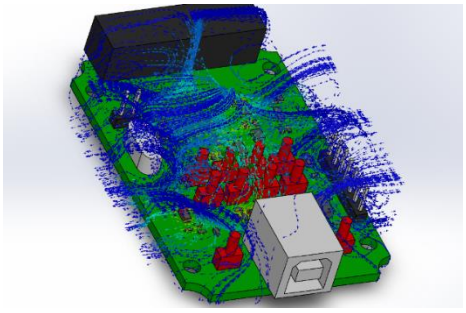


Рисунок 5 – Вид без корпуса

На приведенном выше изображении можно увидеть, что здесь формируется два основных канала прохода воздуха – верхний и нижний. Через нижний канал перегретый воздух покидает устройство, а через верхний канал в устройство поступает холодный воздух.

Заключение. Сравнительный анализ моделирования теплового режима в программном комплексе SolidWorks печатной платы USB-UART адаптера в герметичном и перфорированном корпусах показал несущественные различия в полученных температурах.

По результатам моделирований максимальная и примерная температуры нагретой зоны для герметичного составляют 357K (83°C) и 340K (66°C) соответственно, для перфорированного корпуса – 355K (81°C) и 339K (65°C) соответственно.

Проанализировав полученные данные, можно сказать, что наилучшие результаты показал перфорированный корпус. Максимум температуры в нем на 2 градуса меньше, а температура нагретой зоны – меньше на 1 градус.

Такое снижение максимальной температуры в устройстве не является существенным улучшением, которое могло бы однозначно определить выбор того или иного варианта исполнения корпуса. Исходя из полученных результатов, можно утверждать, что использование герметичного корпуса является достаточным и вполне оправданным, учитывая полученные результаты моделирования. Используя герметичный корпус можно добиться снижения стоимости устройства по сравнению с перфорированным корпусом и исключить воздействие на устройство пыли и влаги. Обобщая полученные результаты, можно утверждать: для маломощных устройств, помещенных в малогабаритные корпуса нет необходимости использования перфорированных корпусов, так как они не дают существенного уменьшения максимальных температур в устройстве.

Список литературы

1. *Моделирование механических характеристик многослойных печатных плат средствами CAE анализа / З. Х. М. Аль-Араджи [и др.] // «Надежность и качество». – 2018. – Т. 1. – С. 224-227*

2. *Зиновьев, Д. В. Основы моделирования в SolidWorks / Д. В. Зиновьев. – Москва : ДМК Пресс, 2017. – 240 с.*

3. *Ansys Mechanical Expert Review, Pricing and Alternatives – 2025 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.worquick.com/post/ansys-review – Дата доступа: 27.03.2025.*

4. *Программное обеспечение инженерного моделирования физических процессов. Лабораторный практикум. В 2 ч. Ч. 1 : Тепловые режимы работы и защиты конструкций РЭС от механических воздействий : пособие / В. Ф. Алексеев, И. Н. Богатко, Г. А. Пискун. – Минск : БГУИР, 2017. – 124 с*

5. *Моделирование и оптимальное проектирование технических систем : учебно-методическое пособие / В. Ф. Алексеев, Д. В. Лихачевский, Г. А. Пискун, В. В. Шаталова. − Минск : БГУИР, 2024. – 99 с.*

6. *Моделирование отведения тепловой энергии от процессоров при помощи кулеров воздушного охлаждения=Simulation of Thermal Energy Removal from Processors Using Air Coolers / Г. А. Пискун [и др.] // Доклады БГУИР. – 2023. – Т. 21, № 4. – С. 54–62.*

7. *Алексеев, В. Ф. Методика численного моделирования тепловых процессов в микроэлектронных структурах / В. Ф. Алексеев, Д. В. Лихачевский, Г. А. Пискун // BIG DATA and Advanced Analytics = BIG DATA и анализ высокого уровня: сборник материалов VI Международной научно-практической конференции, Минск, 20–21 мая 2020 г. : в 3 ч. Ч. 3 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники [и др.] ; редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск, 2020. – С. 34–37.*

UDC 621.396.6:004.94:536.2

A COMPARATIVE ANALYSIS OF THERMAL SIMULATION IN SEALED AND PERFORATED ENCLOSURES FOR A USB-UART ADAPTER BOARD USING THE SOLIDWORKS SOFTWARE SUITS

Merzlyakov D. P.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Yashchuk V.A. – master's degree student, Assistant Professor, Department of Information and Computer Systems Design

Annotation. This article presents a comparative analysis of thermal simulations performed using SolidWorks (Flow Simulation module) for a USB-UART adapter printed circuit board (PCB) housed in a sealed and perforated enclosure. It examines the formation of heat flows in a closed space and under natural convection through perforations, as well as the influence of the enclosure design parameters on the maximum temperature of the components. Based on the thermal simulation results, recommendations are provided for selecting the enclosure type and boundary conditions for a computational experiment to ensure acceptable thermal performance for the USB-UART adapter PCB.

Keywords: SolidWorks, printed circuit board, engineering modeling, sealed enclosure, perforated enclosure, airflow, thermal management

УДК 004.94:621.396.6:536.2

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ УПРАВЛЯЕМОГО СЕТЕВОГО КОНЦЕНТРАТОРА В ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСАХ SOLIDWORKS И ANSYS

Насанович М.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Алексеев В.Ф. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. Экспериментально исследованы методы оценки теплового режима сетевого концентратора с электронными компонентами в программных пакетах S*olidWorks* и *ANSYS*. Установлено, что результаты моделирования теплового режима в программе *SolidWorks* и в программе *ANSYS* различаются. Сделан вывод о необходимости использования каждой из программ для решения определенных инженерных задач в зависимости от входных данных.

Ключевые слова: *SolidWorks, ANSYS*, печатная плата, инженерное моделирование, тепловой режим.

Введение. Современные электронные устройства, такие как сетевые концентраторы, требуют высокой надежности при различных нагрузках. Тепловой режим печатных плат определяет, в основном, надежность всего устройства. Ключевым аспектом обеспечения тепловой устойчивости электронного модуля является анализ теплового режима, предотвращающий явление перегрева электронных компонентов [1–10].

В данной статье автором показано, что каждый программный комплекс – *SolidWorks* и *ANSYS* – имеет свои преимущества и недостатки, а также разные подходы к решению инженерных задач, что обеспечивает минимальную погрешность результатов в сравнении друг с другом**.**

Техническая значимость теплового моделирования печатных плат сетевого оборудования. Управляемые сетевые концентраторы (коммутаторы) относятся к классу ответственных радиоэлектронных средств (РЭС), непрерывно функционирующих в течение длительного времени. Типичный срок службы такого оборудования составляет 5–10 лет при круглосуточном режиме работы. Одним из ключевых факторов, определяющих надежность и безотказность сетевых устройств, является тепловой режим печатной платы, на которой размещены активные компоненты – микроконтроллеры, PHY-микросхемы, преобразователи питания и память.

Современные тенденции развития сетевого оборудования характеризуются: увеличением плотности монтажа компонентов на печатной плате; повышением тактовых частот и, как следствие, ростом удельной мощности рассеяния; миниатюризацией корпусов, что ограничивает возможности естественного охлаждения; требованием к пассивному охлаждению (без вентиляторов) для обеспечения бесшумной работы в офисных помещениях.

В этих условиях недооценка тепловых нагрузок на этапе проектирования может привести к локальному перегреву компонентов, выходу их за пределы допустимых температурных режимов и, как следствие, к преждевременному отказу устройства. По данным статистики отказов электронных компонентов, повышение температуры на 10 °C сверх допустимого значения сокращает срок службы полупроводниковых приборов в 2–3 раза (эмпирическое правило Аррениуса) [6–10].

Недостатки традиционных подходов к оценке тепловых режимов. Традиционные методы обеспечения тепловых режимов РЭС базируются на: приближенных аналитических расчетах (метод эквивалентной тепловой схемы); натурных испытаниях опытных образцов в

термокамерах; эмпирических рекомендациях, основанных на опыте проектирования аналогичных устройств.

Каждый из этих подходов имеет существенные ограничения. Аналитические расчеты, основанные на сосредоточенных параметрах, не позволяют выявить локальные зоны перегрева на печатной плате и учесть сложную конфигурацию размещения компонентов. Натурные испытания требуют значительных временных и материальных затрат (изготовление опытного образца, проведение измерений), а также не дают возможности оперативно оценить влияние конструктивных изменений на тепловой режим. Кроме того, выявление тепловых проблем на этапе испытаний готового изделия приводит к дорогостоящим доработкам конструкции и затягиванию сроков вывода продукта на рынок.

Преимущества и проблемы компьютерного моделирования тепловых процессов. Системы автоматизированного инженерного анализа (CAE) позволяют перенести оценку тепловых режимов на ранние этапы проектирования, когда внесение конструктивных изменений требует минимальных затрат. Современные программные комплексы, такие как SOLIDWORKS Flow Simulation и ANSYS (включая модули Steady-State Thermal, Icepak и др.), предоставляют широкие возможности для трехмерного моделирования теплопроводности, конвекции и излучения.

Актуальность сравнительного анализа для управляемого сетевого концентратора. Печатная плата управляемого сетевого концентратора обладает рядом особенностей, делающих ее тепловой анализ особенно важным:

– наличие высокоскоростных интерфейсов Ethernet (Gigabit), требующих применения PHY-микросхем с повышенным тепловыделением;

– наличие микроконтроллера управления с активной вычислительной нагрузкой;

– компактные габариты корпуса с пассивным охлаждением;

– необходимость обеспечения работоспособности в диапазоне температур 0…40 °C, что является типичным для офисного оборудования.

В открытых источниках отсутствуют систематические исследования, посвященные сравнительному анализу теплового моделирования печатных плат сетевых коммутаторов в различных CAE-средах. Не определены количественные оценки расхождений между результатами, полученными в SOLIDWORKS Flow Simulation и ANSYS, не выявлены факторы, вносящие наибольший вклад в эти расхождения. Отсутствуют рекомендации по выбору программного комплекса для теплового анализа данного класса устройств в зависимости от поставленных задач (оценочный расчет, уточненный анализ, оптимизация).

Основная часть. Сравнительный анализ *SolidWorks* и *ANSYS* в контексте моделирования теплового режима печатных плат выявляет ключевые различия между этими программами при решении инженерных задач. *SolidWorks* выигрывает за счет простоты использования и интуитивного интерфейса для твердотельного моделирования, но уступает в глубине детального инженерного анализа. *ANSYS*, напротив, предлагает высокую точность расчетов, хотя и требует больше времени на освоение из-за менее удобного интерфейса [2, 3].

Для проведения сравнительного анализа было выбрано современное устройство с высокой плотностью элементов на плате (рисунок 1). Первоначально в *SolidWorks* была построена твердотельная геометрическая модель сетевого концентратора, включая все электронные компоненты.

С помощью модуля «Simulation» программного комплекса SolidWorks был создан новый проект с типом исследования «Тепло». Для каждого электронного компонента был задан свой материал, как и для печатной платы. Граничными условиями в виде фиксированной геометрии являются крепежные отверстия по углам платы. Создание сетки данной модели позволило завершить настройку проекта и перейти к расчету [4]. Результат моделирования представлен на рисунке 2.

По результатам выполненного моделирования в программе SolidWorks максимальная температура печатной платы сетевого концентратора ов с электронными компонентами на ней составила 411 °К.

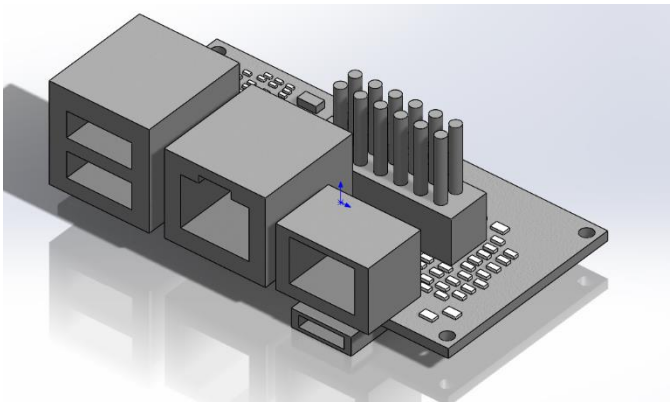


Рисунок 1 – Геометрическая модель платы сетевого концентратора

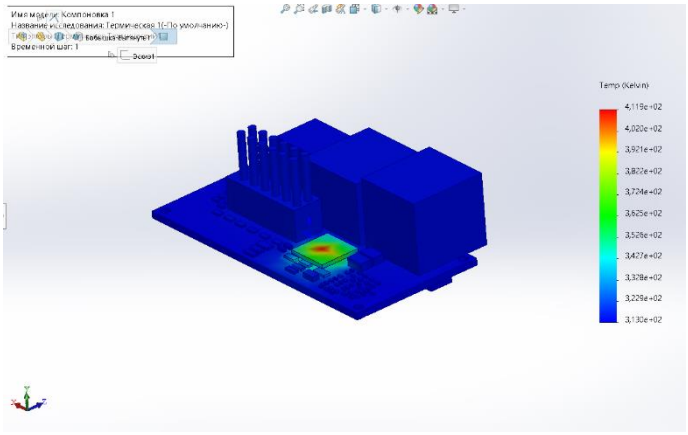


Рисунок 2 – Результат моделирования в программе *SolidWorks*

ANSYS является интегрированной средой моделирования, позволяющей использовать геометрические модели из других популярных *CAD*-систем, таких как, например, *SolidWorks*. Использовав уже готовую твердотельную модель печатной платы с электронными компонентами на ней с помощью модуля «*Steady State Thermal*» и типа исследования «*Heat*», был создан новый проект. По аналогии с настройкой моделирования в *SolidWorks* для каждого элемента, включая печатную плату, были заданы материалы и создана сетка. Граничные условия в виде фиксированной геометрии не изменились. Результат моделирования представлен на рисунке 3.

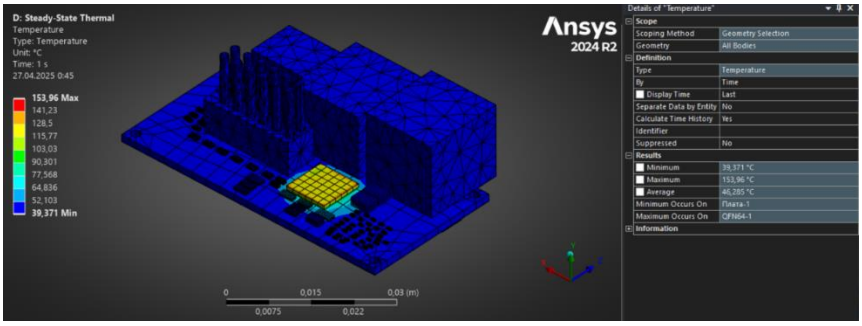


Рисунок 3 – Результат моделирования в программе *ANSYS*

По результатам проведенного моделирования в программе *ANSYS* максимальная температура печатной платы сетевого концентратора с электронными компонентами на ней составила 426 °К.

Заключение. Сравнительный анализ моделирования тепловых режимов печатной платы сетевого концентратора в программных комплексах *SolidWorks* и *ANSYS* показал различия в подходах и результатах.

Различия в математических моделях – разные программные комплексы реализуют различные подходы к решению уравнений теплопереноса (конечно-объемный метод в SOLIDWORKS Flow Simulation, конечно-элементный метод в ANSYS Steady-State Thermal).

Специфика задания граничных условий – способы учета естественной конвекции, теплообмена излучением и контактных тепловых сопротивлений могут существенно различаться.

Алгоритмы построения сетки – методы дискретизации расчетной области (гексаэдрическая, тетраэдрическая, гибридная сетка) влияют на точность и сходимость решения.

Упрощения геометрии – подходы к моделированию тонких слоев (медная фольга, паяльные соединения) могут различаться, что сказывается на итоговом распределении температур.

Следствием этих различий является вариативность результатов моделирования, полученных в разных программных комплексах для одной и той же конструкции. Без критической оценки сходимости результатов и понимания причин расхождений использование CAE-средств может привести к принятию неверных конструкторских решений.

SolidWorks обеспечивает простоту использования и интуитивно понятный интерфейс, что делает его удобным для базового проектирования и анализа. *ANSYS*, в свою очередь, предлагает более высокую точность и гибкость в решении сложных инженерных задач, что делает его предпочтительным выбором для детализированного моделирования. Использование *ANSYS* позволило получить более детальные и точные результаты, несмотря на более сложный и настраиваемый интерфейс.

По результатам исследования тепловой режим платы сетевого концентратора с электронными компонентами на ней составила 411 °К в программном комплексе *SolidWorks* и 426 °К – в программном комплексе *COMSOL*. Погрешность результатов друг относительно друга составила 3,5 %.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что *SolidWorks* является программой, предназначенной в первую очередь для твердотельного моделирования, но способной справляться с простыми инженерными задачами наравне с более сложными и специализированными программными продуктами. Примером такого программного продукта может служить *ANSYS*. Эта программа имеет более сложный интерфейс и не предназначена для твердотельного моделирования, однако более оптимизирована для решения инженерных задач любой сложности.

Кроме того, геометрическая модель может быть создана средствами программы *SolidWorks*, а численное моделирование проведено средствами *COMSOL*. Данное решение является наиболее оптимальным для решения инженерных задач любого вида и сложности.

Список литературы

1. *Amy, R Reliability analysis of electronic equipment subjected to shock and vibration / R Amy, G Aglietti, G Richardson // Shock and Vibration. – 2009. – № 16. – С. 45-59*

2. *Зиновьев, Д. В. Основы моделирования в SolidWorks / Д. В. Зиновьев. – Москва : ДМК Пресс, 2017. – 240 с.*

3. *Введение в ANSYS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cdn.ANSYS.com/doc/5.4/IntroductionToANSYS.ru_RU.pdf. – Дата доступа: 20.03.2026.*

4. *Тепловой анализ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://help.solidworks.com/2021/Russian/SolidWorks/cworks/c_Frequency_Analysis.htm – Дата доступа: 27.03.2025.*

5. *G.A. Dymov, V.P. Belichenko. The main structural element o f a reinforced concrete support: mathematical modeling of mechanical vibrations / / Journal of Physics: Conference Series. – 2021.*

6. *Рыбаков, Д. Г. Применение метода конечных элементов при анализе физических процессов, протекающих в системе мониторинга окружающей среды в программе SolidWorks Simulation / Д. Г. Рыбаков, А. Н. Беликов, В. Ф. Алексеев // Электронные средства и системы управления : материалы докладов XIX Международной научно-практической конференции, Томск, 15–17 ноября, 2023 г. : в 2 ч. Ч. 1 / Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. – Томск : В-Спектр, 2023. – С. 132–134.*

7. *Алексеев, В. Ф. Математическое моделирование как средство оптимизации параметров силовых интегральных микросхем / В. Ф. Алексеев, А. Д. Сыс, Г. А. Пискун // Interdisciplinary research: scientific horizons and perspectives : II International Scientific and Theoretical*

Conference, Vilnius, October 1, 2021 / European Scientific Platform. – Vilnius, 2021. – P. 109–113. – DOI : https://doi.org/10.36074/scientia-01.10.2021.

8. *Алексеев, В. Ф. Моделирование тепловых полей электронных систем в среде ANSYS / В. Ф. Алексеев, Д. В. Лихачевский, Г. А. Пискун // BIG DATA and Advanced Analytics = BIG DATA и анализ высокого уровня: сборник материалов VI Международной научно-практической конференции, Минск, 20–21 мая 2020 г. : в 3 ч. Ч. 3 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники [и др.] ; редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск, 2020. – С. 282–286.*

9. *Алексеев, В. Ф. Методика численного моделирования тепловых процессов в микроэлектронных структурах / В. Ф. Алексеев, Д. В. Лихачевский, Г. А. Пискун // BIG DATA and Advanced Analytics = BIG DATA и анализ высокого уровня: сборник материалов VI Международной научно-практической конференции, Минск, 20–21 мая 2020 г. : в 3 ч. Ч. 3 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники [и др.] ; редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск, 2020. – С. 34–37.*

10. *Оптимизация теплового режима приемо-передающего устройства по результатам моделирования тепловых процессов в среде SolidWorks Flow Simulation / Г. А. Пискун [и др.] // Znanstvena misel journal. – 2019. – Vol. 1, № 35. – P. 47–60.*

UDC 004.94:621.396.6:536.2

COMPARATIVE ANALYSIS OF THERMAL REGIME SIMULATION OF THE PRINTED CIRCUIT BOARD OF A MANAGED NETWORK SWITCH IN SOLIDWORKS AND ANSYS SOFTWARE PACKAGES

Nasanovich M.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Alexseev V.F. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. Experimental studies were conducted on methods for evaluating the thermal regime of a network switch with electronic components using the SolidWorks and ANSYS software packages. It was found that the results of thermal regime modeling in SolidWorks and ANSYS differ. A conclusion is drawn about the necessity of using each of the software packages for solving specific engineering problems depending on the input data.

Keywords: SolidWorks, ANSYS, printed circuit board, engineering simulation, thermal regime.

УДК 004.94:536.2:621.396.6

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ ВЫСОКОСТАБИЛЬНОГО ТЕРМОСТАТИРОВАННОГО ГЕНЕРАТОРА С ЦИФРОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Петкевич Д.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Алексеев В.Ф. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. Экспериментально проведена оценка методов моделирования тепловых процессов в конструктивных элементах высокостабильного термостатированного генератора с цифровым управлением с использованием программных комплексов SolidWorks и Ansys. В результате моделирования установлено, что значение температуры в рабочей зоне, полученное в среде SolidWorks, составило 395 К, тогда как расчет в Ansys дал значение 383 К. На основе полученных данных обоснована целесообразность применения каждого из программных продуктов для решения конкретных инженерных задач, определяемых характером входных параметров и требуемой точностью анализа.

Ключевые слова: *SolidWorks, ANSYS*, печатная плата, инженерное моделирование, тепловые процессы, тепловой режим

Введение. Обеспечение надёжности современной электронной аппаратуры, в частности высокостабильных термостатированных генераторов с цифровым управлением, невозможно без тщательного анализа тепловых режимов функционирования. Стабильность выходных параметров таких устройств напрямую зависит от равномерности распределения температуры по элементам конструкции и эффективности отвода тепла от критически важных компонентов [1–3].

В представленной работе автором продемонстрировано, что используемые программные комплексы отличаются как методологией расчёта, так и областями применимости, что позволяет добиться высокой сходимости результатов и минимизировать погрешность моделирования тепловых процессов.

Основная часть. Оценка применимости программных комплексов SolidWorks и Ansys при решении задач теплофизического моделирования высокостабильного термостатированного генератора с цифровым управлением позволяет выявить сильные и слабые стороны каждого из инструментов. SolidWorks отличается доступностью освоения и наглядностью построения геометрических моделей, однако его функционал для глубокого теплового анализа уступает специализированным решениям. Ansys, несмотря на более высокий порог входа и сложность настройки, обеспечивает повышенную достоверность расчётов температурных полей и распределения тепловых потоков [1–3].

В качестве объекта исследования выбран высокостабильный термостатированный генератор с цифровым управлением, предъявляющий жёсткие требования к поддержанию температурного режима. На первом этапе в среде SolidWorks построена трёхмерная твёрдотельная модель устройства, включающая печатную плату, элементы термостатирования и электронные компоненты

Для проведения теплофизического анализа в среде SolidWorks задействован модуль теплового моделирования, в рамках которого сформирован вычислительный проект с типом исследования «Термический режим». Материалы присвоены как печатной плате, так и каждому из установленных на ней электронных компонентов, включая элементы системы термостатирования. В качестве граничных условий заданы зоны тепловыделения, соответствующие рабочим режимам активных компонентов, а также условия теплообмена с окружающей средой. Построение конечно-элементной сетки на подготовленной

геометрической модели позволило завершить этап настройки вычислительного эксперимента и приступить к решению задачи.

Результаты вычислительного эксперимента (рисунок 1), выполненного в программном комплексе SolidWorks, показали, что температурное поле в конструкции высокостабильного термостатированного генератора с цифровым управлением характеризуется максимальным значением 395 К в зоне расположения критических компонентов.

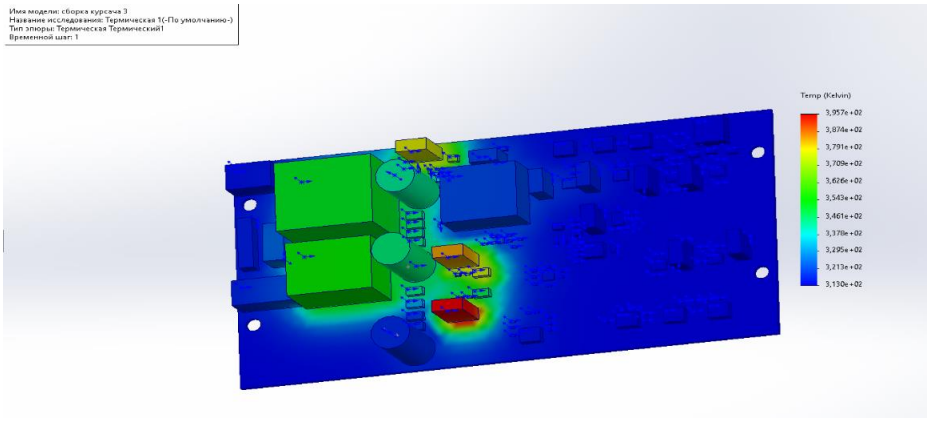


Рисунок 1 – Результат моделирования в программе SolidWorks

Программный комплекс Ansys (риисунок 2) предоставляет возможность импорта геометрических моделей из различных CAD-систем, в том числе из SolidWorks, что обеспечивает непрерывность процесса проектирования. На основе подготовленной трёхмерной модели генератора с элементами термостатирования и электронными компонентами в среде Ansys был развёрнут вычислительный проект с использованием модуля теплового анализа. Аналогично настройке моделирования в SolidWorks для каждого конструктивного элемента, включая печатную плату, назначены теплофизические свойства материалов и построена конечно-элементная сетка. Граничные условия, определяющие источники тепловыделения и условия теплообмена, также сохранили свою конфигурацию.

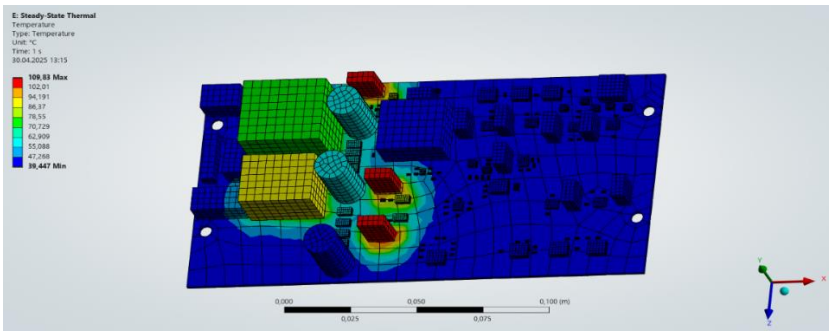


Рисунок 2 – Результат моделирования в программе Ansys

По результатам вычислительного эксперимента, выполненного в программном комплексе Ansys, установлено, что максимальная температура в конструкции высокостабильного термостатированного генератора с цифровым управлением достигла 383 К.

Заключение. Сравнительная оценка моделирования тепловых процессов высокостабильного термостатированного генератора с цифровым управлением в программных средах SolidWorks и Ansys выявила различия как в методологических подходах, так и в получаемых результатах. SolidWorks характеризуется доступностью освоения и наглядностью рабочего процесса, что обусловливает его применимость на этапах предварительного проектирования и экспресс-оценки тепловых режимов. Ansys, в свою очередь, обеспечивает повышенную достоверность расчётов и расширенные возможности

детального теплофизического анализа, что делает его предпочтительным инструментом при решении сложных задач, требующих высокой точности. Применение Ansys позволило получить более детализированную картину распределения температурных полей, несмотря на более высокую сложность настройки вычислительных моделей.

По результатам проведённых исследований установлено, что максимальная температура в рабочей зоне генератора составила 395 К при моделировании в SolidWorks и 383 К – в Ansys. Относительное расхождение результатов составило 3,1%.

На основании изложенного можно заключить, что SolidWorks представляет собой среду, ориентированную преимущественно на твёрдотельное моделирование, однако успешно справляется с решением несложных теплофизических задач наравне со специализированными программными продуктами. Примером такого специализированного решения является Ansys. Данный комплекс отличается более сложным интерфейсом и не предназначен для создания геометрических моделей, однако обладает расширенной функциональностью для решения инженерных задач любой степени сложности в области теплового анализа.

Кроме того, SolidWorks и Ansys могут эффективно применяться в составе комбинированного подхода к инженерному моделированию. Построение геометрической модели целесообразно выполнять средствами SolidWorks, а последующий расчёт тепловых процессов – в среде Ansys. Такое сочетание является наиболее рациональным при решении широкого спектра инженерных задач независимо от их сложности.

Список литературы

1. *Алексеев, В. Ф. Методика численного моделирования тепловых процессов в микроэлектронных структурах / В. Ф. Алексеев, Д. В. Лихачевский, Г. А. Пискун // BIG DATA and Advanced Analytics = BIG DATA и анализ высокого уровня: сб. материалов VI Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 20–21 мая 2020 г. : в 3 ч. Ч. 3 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники [и др.] ; редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск, 2020. – С. 34–37.*

2. *Алексеев, В. Ф. Принципы конструирования и автоматизации проектирования РЭУ: Учеб. пособие / В. Ф. Алексеев – Мн.: БГУИР, 2003. – 197 с.*

3. *Алексеев, В. Ф. Моделирование тепловых полей электронных систем в среде ANSYS / В. Ф. Алексеев, Д. В. Лихачевский, Г. А. Пискун // BIG DATA and Advanced Analytics = BIG DATA и анализ высокого уровня: сборник материалов VI Международной научно-практической конференции, Минск, 20–21 мая 2020 г. : в 3 ч. Ч. 3 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники [и др.] ; редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск, 2020. – С. 282–286.*

UDC 004.94:536.2:621.396.6

COMPARATIVE ANALYSIS OF THERMAL PROCESSES MODELING OF A PRINTED BOARD OF A HIGH-STABILITY THERMOSTATED DIGITAL CONTROLLED GENERATOR

Petkevich D. V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Alexeev V.F. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. The article experimentally evaluates the methods of modeling thermal processes in the structural elements of a highly stable thermostatically controlled digital generator using the SolidWorks and Ansys software packages. The modeling results show that the temperature value in the working area obtained in the SolidWorks environment was 395 K, while the calculation in Ansys yielded a value of 383 K. Based on these findings, the article justifies the suitability of each software product for solving specific engineering problems based on the input parameters and the required analysis accuracy.

Keywords: SolidWorks, ANSYS, Printed Circuit Board (PCB), Engineering Modeling, Thermal processes, Thermal regime

УДК 004.94:621.396.6:534.1

ЧАСТОТНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЭЛЕКТРОННЫЙ МОДУЛЬ ПРОГРАММИРУЕМОГО ЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЛЕРА

Сенько Е.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Алексеев В.Ф. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. В статье представлены результаты сравнительного моделирования механических колебаний (частотного анализа) двусторонней печатной платы программируемого логического контроллера. Исследование проведено для трех вариантов компоновки электронных компонентов с использованием программных комплексов SOLIDWORKS Simulation, Ansys и COMSOL Multiphysics. Выполнен анализ влияния расположения элементов на собственные частоты колебаний платы. Проведена оценка сходимости результатов, полученных в различных CAE-системах, и определен наиболее виброустойчивый вариант компоновки.

Ключевые слова: тепловое моделирование, печатная плата, SOLIDWORKS, Ansys, COMSOL, сравнительный анализ, температура

Введение. Одним из критических факторов, определяющих надежность радиоэлектронных средств (РЭС), является их способность противостоять механическим воздействиям, в частности вибрациям. В процессе эксплуатации, транспортировки или вследствие внешних факторов устройство подвергается динамическим нагрузкам, которые могут привести к резонансным явлениям в конструкции. Возникновение резонанса способно вызвать усталостные разрушения печатных плат, нарушение паяных соединений и, как следствие, полный отказ устройства [1-8].

Особую важность представляет исследование влияния компоновки – расположения электронных компонентов на печатной плате – на ее динамические характеристики. Рациональное размещение элементов может существенно повысить собственную частоту колебаний платы, выводя ее из зоны резонанса с внешними воздействующими частотами.

В данной работе проводится сравнительный анализ результатов частотного моделирования для трех вариантов компоновки печатной платы с использованием трех различных программных комплексов. Целью исследования является оценка сходимости результатов и выбор компоновки, обеспечивающей максимальную виброустойчивость.

Программируемые логические контроллеры (ПЛК) являются основой современных систем промышленной автоматизации, управления технологическими процессами и распределенных систем сбора данных. В условиях цифровой трансформации промышленности требования к надежности и безотказности работы ПЛК существенно возрастают, поскольку выход из строя контроллера может привести к остановке производственного цикла, возникновению аварийных ситуаций и значительным экономическим потерям.

Актуальность исследований. Одним из критических факторов, определяющих долговечность и отказоустойчивость электронных модулей ПЛК, является их способность сохранять работоспособность при воздействии механических нагрузок. В реальных условиях эксплуатации промышленные контроллеры подвергаются широкому спектру механических воздействий: вибрациям, возникающим при работе производственного оборудования; ударным нагрузкам при транспортировке и монтаже; циклическим деформациям, обусловленным термомеханическими процессами. Особую значимость эта проблема приобретает для контроллеров, устанавливаемых на подвижных объектах (транспорт, железнодорожная техника) или в зонах с интенсивной вибрационной нагрузкой.

Традиционные подходы к оценке вибропрочности электронных модулей, основанные на натурных испытаниях, требуют значительных временных и материальных затрат, а также не всегда позволяют выявить критические зоны конструкции на ранних этапах проектирования.

В связи с этим возрастает роль методов компьютерного моделирования, позволяющих на этапе разработки прогнозировать динамическое поведение конструкции, определять собственные частоты колебаний, выявлять зоны концентрации напряжений и оптимизировать конструктивные параметры электронных модулей.

Несмотря на широкое распространение систем автоматизированного инженерного анализа (CAE), вопросы достоверности и сходимости результатов моделирования механических воздействий на электронные модули остаются актуальными. Различные программные комплексы, реализующие конечно-элементный анализ, могут давать отличающиеся результаты в зависимости от применяемых алгоритмов, способов дискретизации расчетной области и моделей поведения материалов. Это требует критической оценки используемых инструментов и разработки методических подходов к моделированию динамических процессов в электронных модулях.

Настоящее исследование направлено на решение задачи частотного анализа электронного модуля программируемого логического контроллера с использованием методов компьютерного моделирования. Актуальность работы обусловлена необходимостью повышения надежности промышленных контроллеров на этапе проектирования, сокращения сроков и стоимости разработки за счет применения современных CAE-средств, а также обоснования выбора программных комплексов для решения задач динамического анализа электронных модулей.

Методика моделирования. Объектом исследования является двусторонняя печатная плата из стеклотекстолита FR-4 с фиксированным набором электронных компонентов, но с тремя различными вариантами их пространственного расположения.

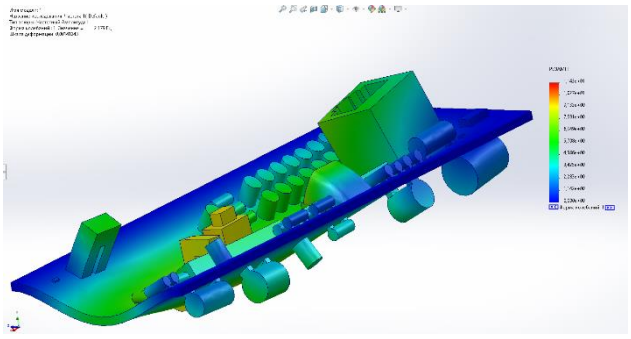
Моделирование проводилось в трех программных комплексах:

- SOLIDWORKS Simulation: модуль частотного анализа, интегрированный в CAD систему SOLIDWORKS, использующий метод конечных элементов для расчета собственных частот и форм колебаний;
- Ansys: расчет в модуле Modal Analysis, реализующем мощные алгоритмы для решения задач динамики конструкций;
- COMSOL Multiphysics: моделирование в модуле Structural Mechanics Module, позволяющее проводить детальный частотный анализ с высокой степенью контроля над сеткой и решателем.

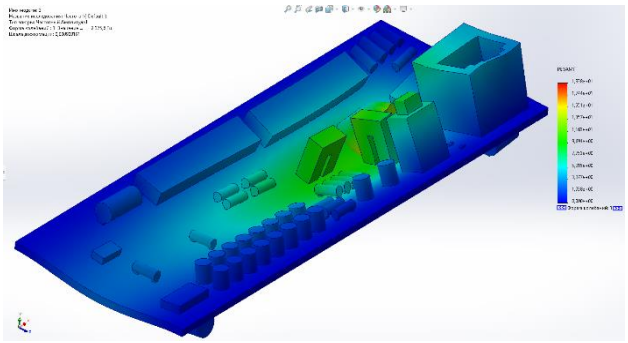
Для всех трех вариантов компоновки были заданы идентичные граничные условия, соответствующие реальным условиям эксплуатации устройства:

- фиксация платы по трем сторонам;
- материал платы и компонентов задан в соответствии с их физическими свойствами;
- сетка конечных элементов строилась с учетом геометрических особенностей моделей для обеспечения сходимости расчетов.

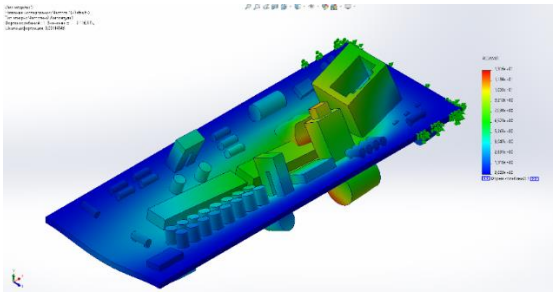
На рисунке 1 представлены трехмерные модели печатной платы для трех исследуемых вариантов компоновки, построенные в среде SOLIDWORKS.



а – первая компоновка



б – вторая компоновка

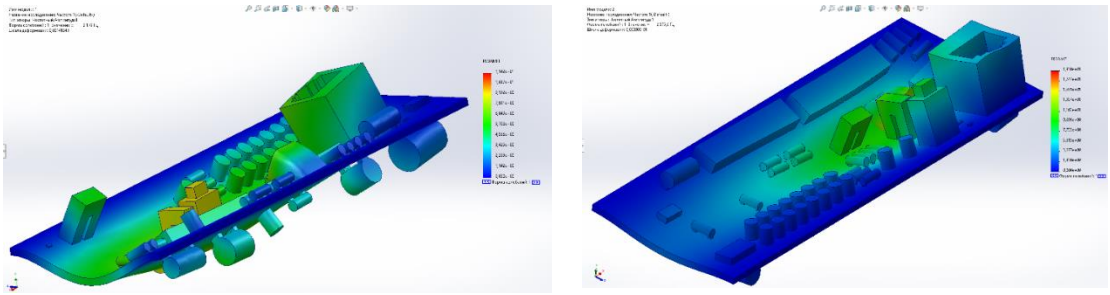


в – третья компоновка

Рисунок 1 – Трехмерные модели печатной платы для трех вариантов компоновки в SolidWork

Результаты и их обсуждение. В результате моделирования для каждого варианта компоновки и в каждой программной среде были получены значения минимальной собственной частоты колебаний, которая является наиболее критичной с точки зрения возникновения резонанса.

На рисунке 2 показаны примеры визуализации результатов частотного анализа для программных сред Ansys *а)* и COMSOL *б)* соответственно для первой компоновки.



а) *б)*

Рисунок 2 – Трехмерные модели печатной платы для первого варианта компоновки в Ansys и COMSOL

Сводные результаты по минимальным собственным частотам для всех вариантов и сред представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение минимальной собственной частоты (Гц) для различных вариантов компоновки и программных сред

Программная среда	**Вариант компоновки 1**	**Вариант компоновки 2**	**Вариант компоновки 3**
SOLIDWORKS	2179	2376	2117
Ansys	2082	2343	2126
COMSOL	2133	2366	2091
Среднее значение	2131	2362	2111

Анализ полученных данных позволяет сделать следующие выводы:

1 Влияние компоновки: Наиболее высокая собственная частота (в среднем 2362 Гц) наблюдается для второго варианта компоновки, где крупные элементы разнесены по сторонам платы. Это свидетельствует о том, что данное расположение компонентов обеспечивает наилучшую виброустойчивость конструкции. Первый и третий варианты показывают более низкие значения частот (2131 Гц и 2111 Гц соответственно).

2 Сходимость результатов: Результаты, полученные в трех различных программных комплексах, показывают высокую степень сходимости. Расхождения в значениях минимальной собственной частоты для каждого варианта компоновки не превышают 5%. Это подтверждает корректность построенных моделей и достоверность полученных данных.

3 Соответствие требованиям: Все полученные значения собственных частот (более 2000 Гц) значительно превышают максимальную частоту внешних вибрационных воздействий для данного класса аппаратуры (60 Гц согласно ГОСТ 23752-79 для 2-й группы жесткости). Это гарантирует отсутствие резонансных явлений в рабочем диапазоне и высокую надежность устройства при эксплуатации.

Заключение. Проведенное сравнительное исследование подтвердило, что все рассмотренные CAE-системы (SOLIDWORKS Simulation, Ansys и COMSOL Multiphysics)

являются эффективными инструментами для прогнозирования динамических характеристик печатных плат. Результаты частотного анализа, полученные в трех программных средах, демонстрируют хорошую сходимость.

Установлено, что изменение компоновки электронных компонентов оказывает существенное влияние на собственную частоту колебаний печатной платы. Наиболее виброустойчивым является вариант компоновки с рассредоточенным расположением крупных элементов, обеспечивающий минимальную собственную частоту на уровне 2362 Гц. Все исследуемые варианты компоновки обеспечивают большой запас по частоте по отношению к максимальной частоте внешних вибрационных воздействий, что гарантирует механическую надежность разрабатываемого устройства.

Список литературы

1. *Рыбаков, Д. Г. Применение метода конечных элементов при анализе физических процессов, протекающих в системе мониторинга окружающей среды в программе SolidWorks Simulation / Д. Г. Рыбаков, А. Н. Беликов, В. Ф. Алексеев // Электронные средства и системы управления : материалы докладов XIX Международной научно-практической конференции, Томск, 15–17 ноября, 2023 г. : в 2 ч. Ч. 1 / Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. – Томск : В-Спектр, 2023. – С. 132–134.*

2. *Алексеев, В. Ф. Математическое моделирование как средство оптимизации параметров силовых интегральных микросхем / В. Ф. Алексеев, А. Д. Сыс, Г. А. Пискун // Interdisciplinary research: scientific horizons and perspectives : II International Scientific and Theoretical Conference, Vilnius, October 1, 2021 / European Scientific Platform. – Vilnius, 2021. – P. 109–113. – DOI : https://doi.org/10.36074/scientia-01.10.2021.*

3. *Алексеев, В. Ф. Моделирование распределения плотности тока на печатной плате = Simulation of the current density distribution on a PCB / В. Ф. Алексеев, А. П. Горбач, Е. В. Хуторная // Sciences of Europe. – 2020. – Т. 1, № 55. – С. 37–41.*

4. *Алексеев, В. Ф. Моделирование тепловых полей электронных систем в среде ANSYS / В. Ф. Алексеев, Д. В. Лихачевский, Г. А. Пискун // BIG DATA and Advanced Analytics = BIG DATA и анализ высокого уровня: сборник материалов VI Международной научно-практической конференции, Минск, 20–21 мая 2020 г. : в 3 ч. Ч. 3 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники [и др.] ; редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск, 2020. – С. 282–286.*

5. Адаптеры для программирования микроконтроллеров AVR [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://tehnoobzor.com/schemes/chips/109-adaptery-dlya-programmirovaniya-mikrokontrollerov-avr.html/.

6. ANSYS Mechanical User's Guide [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.ansys.com/documentation.

7. Алексеев, В. Ф. Алгоритмы иерархического анализа тепловых процессов радиоэлектронных средств / В. Ф. Алексеев, Д. В. Лихачевский // Цифровая среда: технологии и перспективы : сборник материалов II Международной научно-практической конференции, Брест, 31 октября–1 ноября 2024 г. / Брестский государственный технический университет ; редкол.: Н. Н. Шалобыта (гл. ред.) [и др.]. – Брест, 2024. – С. 221–226.

8. Алексеев, В. Ф. Особенности проектирования медицинских электронных устройств = Features of Design of Medical Electronic Devices / В. Ф. Алексеев, Г. А. Пискун // Доклады БГУИР. – 2023. – Т. 21, № 1. – С. 51-57.

UDC 004.94:621.396.6:534.1

FREQUENCY ANALYSIS OF MECHANICAL IMPACT SIMULATION ON AN ELECTRONIC MODULE OF A PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER

Senko E.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Alexeev V.F. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. The article presents the results of comparative modeling of mechanical vibrations (frequency analysis) of a two-sided printed circuit board of a programmable logic controller. The study was conducted for three layout options for electronic components using the software packages SOLIDWORKS Simulation, Ansys and COMSOL Multiphysics. The influence of the arrangement of the elements on the natural oscillation frequencies of the board is analyzed. The convergence of the results obtained in various CAE systems was evaluated, and the most vibration-resistant layout option was determined.

Keywords: thermal modeling, printed circuit board, SOLIDWORKS, Ansys, COMSOL, comparative analysis, temperature

УДК 004.42:378

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЗАРЯЖЕННОЙ ЧАСТИЦЫ В СКРЕЩЕННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ И МАГНИТНОМ ПОЛЯХ МЕТОДОМ РУНГЕ-КУТТЫ 4-ГО ПОРЯДКА

Шибаев И. С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Храмович Е. М., к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры физики

Аннотация. Рассмотрено движение заряженной частицы в однородных скрещенных электрическом и магнитном полях. Численное решение уравнений Лоренца получено методом Рунге-Кутты 4-го порядка. Показано, что выбранный шаг интегрирования обеспечивает устойчивое описание винтовой траектории и дрейфа. Приведены таблицы параметров модели и первых шагов интегрирования, а также пример ручного расчета одного шага.

Ключевые слова: заряженная частица, скрещенные поля, уравнение Лоренца, метод Рунге-Кутты, численное моделирование.

Введение. Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях лежит в основе работы плазменных устройств, масс-спектрометров, ускорителей и магнитных сепараторов. Даже при простых внешних условиях уравнения движения остаются нелинейными, а аналитическое решение быстро теряет наглядность. По этой причине на практике особенно полезны устойчивые и достаточно точные пошаговые методы интегрирования, среди которых метод Рунге-Кутты 4-го порядка занимает удачное промежуточное положение между точностью и вычислительной стоимостью [1, 2].

Физическая постановка задачи. Рассматривается частица с зарядом q и массой m в однородных полях E = (800, 0, 0) В/м и B = (0, 0,03/√2, 0,03/√2) Тл. Поля взаимно перпендикулярны, поэтому траектория приобретает трехмерный характер. В качестве частицы выбран электрон: q = -1,602 × 10^-19 Кл, m = 9,109 × 10^-31 кг. Начальные условия заданы как r0 = (0, 0, 0) м и v0 = (4,0; 1,0; 1,0) × 10^6 м/с. Такой набор параметров дает наглядную траекторию на наносекундном интервале и позволяет оценить влияние поперечного дрейфа на движение в поле [3].

$$m \cdot dv/dt = q\,(E + v \times B)$$
$$dr/dt = v$$

Здесь правая часть определяется мгновенной скоростью, поэтому задача относится к системе обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка. Для такой системы особенно важна не только локальная точность, но и отсутствие накопления заметного фазового сдвига на нескольких десятках периодов гиродвижения.

Численный метод и алгоритм. Переход к методу Рунге-Кутты 4-го порядка удобнее описывать как последовательность из четырех оценок. На первом этапе используются текущие координаты и скорость. На втором и третьем этапах состояние уточняется в середине шага, а на четвертом – в его конце. В результате каждый шаг строится как взвешенное среднее четырех наклонов с весами 1:2:2:1. Такая схема особенно уместна здесь, поскольку в уравнении Лоренца ускорение зависит не только от координат, но и от скорости, а значит промежуточные точки должны обновляться согласованно.

При шаге h = 5 × 10^-12 с из начального состояния получается ускорение a0 = (q/m)(E + v0 × B) ≈ (-1,41 × 10^14; 1,49 × 10^16; -1,49 × 10^16) м/с^2. Если разложить первый шаг по

стадиям RK4, то уже на начальном подшаге скорость вдоль x уменьшается, а поперечные компоненты начинают поворачиваться в плоскости, перпендикулярной магнитному полю. После первого шага получаем r1 ≈ (2,00 × 10^-5; 5,19 × 10^-6; 4,81 × 10^-6) м и v1 ≈ (3,998 × 10^6; 1,075 × 10^6; 0,925 × 10^6) м/с. Эти числа служат не только проверкой кода, но и ориентиром: ошибка округления на таком шаге остается намного меньше самого физического изменения за шаг. Параметрв модели представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры модели

Параметр	**Значение**
Заряд частицы q	−1,602 × 10^-19 Кл
Масса частицы m	9,109 × 10^-31 кг
Электрическое поле E	(800, 0, 0) В/м
Магнитное поле B	(0, 0,03/√2, 0,03/√2) Тл
Начальная скорость v0	(4,0; 1,0; 1,0) × 10^6 м/с
Начальная координата r0	(0, 0, 0) м
Шаг интегрирования h	5 × 10^-12 с
Интервал расчета	20 нс

Таблица 1 показывает расчетные условия, при которых траектория сохраняет видимую трехмерную структуру без чрезмерного роста координат на коротком временном промежутке.

На рисунке 1 видна винтовая траектория с дрейфом в направлении электрического поля. Проекции на координатные плоскости подтверждают, что поперечные колебания связаны с магнитной составляющей, а медленный рост координат вдоль направления результирующего переноса определяется электрическим полем.

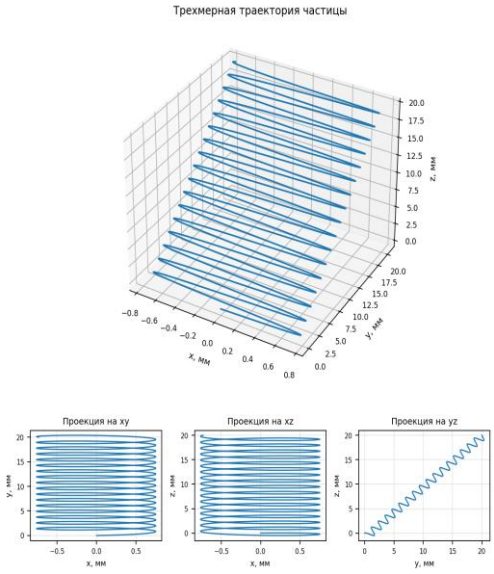


Рисунок 1 - Траектория заряженной частицы в скрещенных полях

Первые шаги интегрирования. Для выбранных параметров характерный циклотронный период составляет примерно 1,19 нс, тогда как шаг интегрирования равен 5 пс. На один период приходится порядка 240 шагов, поэтому дискретизация достаточно плотная, чтобы не искажать фазу вращения. Оценка дрейфовой скорости E/B дает величину порядка 2,7 × 10^4 м/с; именно такой медленный перенос и проявляется как плавный рост координат на фоне быстрых поперечных колебаний. Тем самым численные таблицы согласуются с физической картиной движения в скрещенных полях.

Метод Рунге-Кутты 4-го порядка дает устойчивое и наглядное описание движения заряженной частицы в скрещенных полях при разумном выборе шага интегрирования. На

рассматриваемом интервале видно сочетание поперечных колебаний, вызванных магнитным полем, и направленного переноса, обусловленного электрическим полем. Для учебной и прикладной постановки такой подход удобен тем, что сохраняет физическую интерпретацию траектории и не требует сложной численной инфраструктуры.

При более сильных полях или большем времени моделирования полезно дополнительно контролировать локальную погрешность, например сравнением решений на двух шагах или использованием адаптивного шага. Для учебной постановки выбранная схема уже достаточна: она показывает влияние полей разной природы и дает результаты, которые легко проверить по первым шагам интегрирования. Координаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Координаты

n	t, пс	x, мм	y, мм	z, мм	vx, км/с	vy, км/с	vz, км/с
0	0	0.000000	0.000000	0.000000	4000.000	1000.000	1000.000
1	5	0.019996	0.005187	0.004813	3997.905	1074.605	925.395
2	10	0.039974	0.010746	0.009254	3993.027	1149.145	850.855
3	15	0.059922	0.016678	0.013322	3985.370	1223.569	776.431
4	20	0.079823	0.022981	0.017019	3974.939	1297.823	702.177
5	25	0.099666	0.029656	0.020344	3961.742	1371.857	628.143

По данным таблицы 2 координаты растут плавно, а поперечные компоненты скорости меняются взаимосвязанно. Это согласуется с действием силы Лоренца: магнитное поле разворачивает вектор скорости, а электрическое поле сообщает частице направленный перенос.

Ссылки на литературу

1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теория поля. 8-е изд., стер. М.: Физматлит, 2004. 536 с.

2. Самарский А. А., Гулин А. В. Численные методы. М.: Наука, 1989. 432 с.

3. Вержбицкий В. М. Основы численных методов. М.: Высшая школа, 2002. 840 с.

4. Hairer E., Nørsett S. P., Wanner G. Solving Ordinary Differential Equations I: Nonstiff Problems. 2nd ed. Berlin: Springer, 1993. 528 p.

5. Runge-Kutta method [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://mathworld.wolfram.com/Runge-KuttaMethod.html. Дата доступа: 22.03.2026.

Примечание. Для построения графиков использован код на Python, приведённый в отдельном файле. Полный архив с программой доступен по запросу. Верификация на первых шагах подтверждает согласование численных значений с ожидаемой физической картиной.

UDC 004.42:378

MODELING OF A CHARGED PARTICLE MOTION IN CROSSED ELECTRIC AND MAGNETIC FIELDS BY THE 4TH-ORDER RUNGE-KUTTA METHOD

Shibaev I.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Khramovich E. M., – Cand. of Phys. and Math. Sci., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physics

Annotation. The motion of a charged particle in uniform crossed electric and magnetic fields is studied. The Lorentz equations are solved numerically by the fourth-order Runge-Kutta method. The selected step size reproduces the spiral drift trajectory with sufficient accuracy. Tables of model parameters and the first integration steps are presented together with a hand-calculated example.

Keywords: charged particle, crossed fields, Lorentz equation, Runge-Kutta method, numerical simulation.

УДК 621.3.049.77–048.24:537.2

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ ДЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ

Зубарь Д.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Алексеев В.Ф. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. Рассмотрены критические факторы, влияющие на точность измерительной аппаратуры на этапе проектирования печатных плат. Обоснованы конструкторско-технологические методы обеспечения помехоустойчивости: многослойная структура, разделение аналоговых и цифровых цепей заземления, экранирование высокоимпедансных цепей. На примере разрабатываемого узла (наименование узла) показаны результаты моделирования целостности сигнала и пульсаций питания. Предложенные решения позволяют минимизировать влияние паразитных параметров на метрологические характеристики устройства.

Ключевые слова: печатная плата, измерительная аппаратура, помехоустойчивость, разводка заземления, целостность сигнала, ЭМС.

Введение. Современная измерительная аппаратура предъявляет высокие требования к точности, стабильности и помехозащищенности. В условиях миниатюризации и повышения быстродействия электронных компонентов качество проектирования печатной платы (ПП) становится определяющим фактором, влияющим на метрологические характеристики устройства. Ошибки топологии, некорректная разводка цепей питания и заземления могут свести на нет преимущества даже самой прецизионной элементной базы.

Особую сложность представляют устройства смешанного типа, содержащие одновременно высокочувствительные аналоговые цепи и высокоскоростные цифровые интерфейсы. Паразитные наводки, «земляные петли» и синфазные помехи являются основными источниками погрешностей, что делает актуальной задачу разработки эффективных методов проектирования ПП для измерительной аппаратуры.

В данной статье обобщены особенности топологического проектирования, реализованные в рамках дипломного проекта «(название вашего устройства)», и показана их эффективность на основе результатов моделирования.

Основная часть. При проектировании ПП для измерительной аппаратуры необходимо учитывать три группы критических факторов, влияющих на точность измерений: паразитные параметры топологии, помехи по цепям питания и заземления, а также электромагнитную совместимость.

Паразитные емкости и индуктивности проводников приводят к искажению формы сигнала, особенно в высокочастотном диапазоне. Наибольшую опасность представляют длинные параллельные дорожки, создающие взаимные наводки. В высокоимпедансных измерительных цепях (входы операционных усилителей, источники опорного напряжения) даже незначительные токи утечки через паразитные емкости могут вызывать смещение нуля и снижение точности.

Проблема «земляной петли» возникает при наличии нескольких путей протекания обратного тока. Импеданс общего провода не равен нулю, и токи цифровых цепей, протекая по участкам аналоговой земли, создают падение напряжения, которое воспринимается аналоговыми узлами как полезный сигнал. Это особенно критично для аналого-цифровых преобразователей с высокой разрядностью (16–24 бит), где допустимый уровень шума составляет десятки микровольт.

Для решения перечисленных проблем может быть применен комплекс конструкторско-технологических решений, реализованных в САПР *Altium Designer*.

На этапе подбора комплектующих при проектировании печатных плат измерительной аппаратуры важно учитывать особенности компонентов для *SMD* монтажа. С точки зрения электромагнитной совместимости такие компоненты более предпочтительны для высокоточной, высокочастотной и измерительной технике. Так как имеют ряд преимуществ над компонентами сквозного монтажа. Сравнение способов монтажа приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение способов монтажа компонентов ПП

Характеристика	Поверхностный монтаж	Выводной монтаж
Паразитная индуктивность	Низкая	Высокая
Площадь контура тока	Маленькая	Большая
Излучение помех	Низкое	Высокое
Чувствительность к ЭМП	Низкая	Высокая

Как видно из таблицы, для компонентов измерительного блока устройства предпочтительно использовать компоненты для поверхностного монтажа.

Разделение зон. На рисунке 1 представлен фрагмент топологии печатной платы измерителя. Измерительный блок отнесен от других узлов печатной платы для минимизации помех. Монтаж измерительных цепей выполнен тонкими проводниками чтобы уменьшить влияние антенного эффекта на входы АЦП. Так как плата является двухсторонней, то с обратной стороны тоже размещены элементы. Для размещения был выбран корпус держателя батареи. Этот компонент не вносит никаких помех в работу устройств, расположенных поблизости. Резисторы расположены максимально близко к выводам микросхемы с целью снижения паразитной индуктивности.

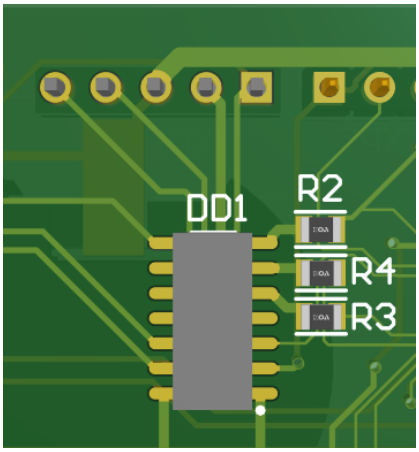


Рисунок 1 – Измерительный блок устройства

Таким образом, предложенные конструкторско-технологические решения позволяют системно подойти к вопросам обеспечения помехоустойчивости измерительного устройства на этапе проектирования печатной платы. Выбор *SMD*-компонентов, топологическое разделение функциональных узлов и оптимизация геометрии проводников создают необходимые условия для минимизации влияния паразитных параметров и электромагнитных помех на точность измерений.

Заключение. В результате выполнения работы выполнен анализ критических факторов, влияющих на точность измерительной аппаратуры на этапе проектирования печатной платы. Установлено, что основными источниками погрешностей являются паразитные параметры топологии (емкости и индуктивности проводников), помехи по цепям питания и заземления, а также эффект «земляной петли». Показано, что применение компонентов поверхностного монтажа обладает преимуществами перед выводными аналогами с точки зрения электромагнитной совместимости за счет меньшей паразитной индуктивности и сокращенной площади контура тока.

На основе проведенного анализа предложен и реализован комплекс конструкторско-технологических решений, включающий топологическое разделение измерительного блока, монтаж чувствительных цепей тонкими проводниками для снижения антенного эффекта, а также минимизацию длины соединений резисторов для уменьшения паразитной индуктивности. Разработанная топология печатной платы с учетом особенностей двухстороннего монтажа и выбора корпуса держателя батареи, не вносящего дополнительных помех, позволяет снизить уровень паразитных влияний и обеспечить достоверность результатов измерений. Предложенные решения могут быть рекомендованы к применению при проектировании измерительных модулей смешанного типа.

Список литературы

1. *The Impact of ESD on Microcontrollers / Gennady A. Piskun, Viktor F. Alexeev, Sergey M. Avakov, Vladimir E. Matyushkov, Dmitry S. Titko ; Edited by PhD, Aassociate professor Viktor F. Alexeev. – Minsk : Kolorgrad, 2018. – 184 p. – ISBN 978-9857-148-40-0.*

2. *Alexseev, V. Approaches to the optimization of the electronic module using the research of transformation of energy of mechanical exposure / Viktor F. Alexseev, Gennady A. Piskun, Dmitriy V. Likhachevsky // Slovak international scientific journal. – 2018. – Vol. 1, N 14. – Pp. 9–27.*

3. *Алексеев, В.Ф. Impact of discharges of static electricity on semiconductor structures and integral schemes / В.Ф. Алексеев, Г.А. Пискун, А.А. Лисовский // Danish Scientific Journal. – 2018. – Vol.1, N 19. – Pp. 31–41.*

4. *Models for predicting the reliability of integral schemes taking into account the impact of electrostatic discharge / В.Ф. Алексеев [и др.] // Slovak international scientific journal. – 2018. – Vol. 1, N 24. – Pp. 47–62.*

UDC 621.3.049.77–048.24:537.2

CONTROL OF MICROCONTROLLER UNDER THE INFLUENCE OF ELECTROSTATIC DISCHARGE

Zubar D.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Alekseev V.F. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. The critical factors affecting the accuracy of measuring equipment at the stage of printed circuit board design are considered. Design and technological methods for ensuring noise immunity are substantiated: multilayer structure, separation of analog and digital grounding circuits, shielding of high-impedance circuits. Using the example of the developed unit (unit name), the results of signal integrity and power ripple simulation are shown. The proposed solutions minimize the influence of parasitic parameters on the metrological characteristics of the device.

Keywords: printed circuit board, measuring equipment, noise immunity, grounding routing, signal integrity, EMC.

УДК 004.056.53–517.956.227

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК В СИСТЕМАХ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

Ефремова А.Ю.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Алефиренко В.М. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. Одним из наиболее перспективных решений для защиты информации является шифрование с помощью квантовых точек. В данной статье рассматривается возможность использования численных методов моделирования для прогнозирования поведения спектров квантовых точек. Основное внимание уделяется решению двумерного стационарного уравнения Шредингера методом конечных элементов с использованием эрмитовых функций. Результатом решения данного уравнения являются энергетические уровни, позволяющие предсказать спектры поглощения, что важно для оптимизации параметров квантового шифрования и повышения его устойчивости к внешним воздействиям.

Ключевые слова: квантовое шифрование, квантовые точки, спектры поглощения, методы численного моделирования, уравнение Шредингера.

Введение. В последние десятилетия наблюдается стремительное развитие технологий, связанных с обработкой и защитой данных. В условиях постоянного роста объемов информации и увеличения числа киберугроз, вопросы безопасности данных становятся особенно актуальными. Одним из наиболее перспективных направлений в этой области является использование квантовых технологий, в частности, квантовых точек, для шифрования данных. Квантовые точки, будучи наноразмерными полупроводниковыми структурами, обладают уникальными оптическими и электронными свойствами. Благодаря этим свойствам они успешно применяются в квантовой криптографии. Численное моделирование физических процессов, связанных с квантовыми точками, играет ключевую роль в понимании их поведения и взаимодействия с окружающей средой. С помощью современных вычислительных методов и алгоритмов можно проводить детальный анализ свойств квантовых точек, что позволяет оптимизировать их использование в системах шифрования [1–3].

Основная часть. Квантовое шифрование – это метод защиты информации, основанный на использовании квантовых битов для передачи информации, что обеспечивает высокий уровень безопасности. Этот вид шифрование использует квантовую механику для выполнения криптографических задач, которые повышают безопасность передаваемых данных. В отличие от традиционных методов шифрования, таких как *AES* и *RSA*, которые опираются на сложные математические вычисления, квантовое шифрование использует физические свойства квантовых битов (кубитов) для защиты данных, делая их более сложными для взломов.

Квантовые точки – это наноразмерные полупроводниковые кристаллы, которые обладают уникальными оптическими и электронными свойствами благодаря квантовым эффектам.

Спектры поглощения квантовых точек зависят от их размера, формы и материала, из которого они изготовлены. Эти спектры могут быть использованы для шифрования информации, так как они представляют собой уникальные «отпечатки» для каждой квантовой точки. При передаче информации через квантовые точки можно манипулировать их спектрами поглощения, изменяя параметры, такие как размер или состав, что позволяет создавать различные состояния, которые могут быть использованы для шифрования данных.

При использовании спектров поглощения в квантовом шифровании информация может быть закодирована в виде различных уровней энергии, которые соответствуют различным состояниям квантовых точек.

При этом, благодаря квантовым эффектам, любое вмешательство в систему, например, попытка перехвата информации, приведет к изменению состояния квантовых точек, что будет немедленно замечено. Это свойство обеспечивает высокий уровень безопасности, так как злоумышленник не сможет получить доступ к закодированной информации без ее изменения.

Кроме того, использование квантовых точек в шифровании позволяет интегрировать эту технологию в существующие оптические системы связи, что делает ее более практичной для применения в реальных условиях. Квантовые точки могут быть использованы в качестве источников фотонов, которые передают информацию на большие расстояния, обеспечивая при этом защиту от перехвата [1].

В рамках шифрования с помощью квантовых точек, можно использовать различные численные и математические методы, а также численные модели физических процессов для прогнозирования параметров шифрования и его качества.

Численные методы – это набор алгоритмов, используемых для решения математических задач, которые не могут быть решены аналитически или требуют значительных вычислительных ресурсов.

Численные методы, такие как метод Монте-Карло, могут быть использованы для моделирования статистических свойств квантовых точек, включая распределение энергии и вероятности переходов между энергетическими уровнями. Среди подобных методов можно выделить метод функционала плотности, который позволяет исследовать электронные структуры квантовых точек с высокой точностью, демонстрируя, как электронные состояния изменяются в зависимости от размера и формы квантовой точки, что, в свою очередь, влияет на ее оптические свойства.

В результате применения численных методов исследователи могут не только предсказывать спектры поглощения, но и оптимизировать параметры квантовых точек для достижения желаемых свойств.

Математические методы – это совокупность подходов, используемых для решения математических задач и анализа различных явлений.

Численные модели физических процессов – это более сложные математические модели, которые используют численные методы для решения физических уравнений и описания различных явлений в природе. Эти модели позволяют исследовать сложные системы, для которых аналитическое решение невозможно или крайне затруднительно [2].

Численные модели физических процессов позволяют использовать методы Монте-Карло для моделирования случайных процессов и оценки вероятностей различных исходов в системах с квантовыми точками, использовать решение уравнений Максвелла для анализа взаимодействия света с квантовыми точками, а также провести симуляцию на основе конечных элементов для моделирования распределения электромагнитных полей вблизи квантовых точек.

Все эти методы и модели могут быть использованы для разработки и анализа методов шифрования, основанных на спектрах поглощения квантовых точек, а также для оценки их эффективности и безопасности. Однако в данной статье подробно будет рассмотрено предсказание поведения квантовых точек и их спектров поглощения с помощью решения уравнения Шредингера [2,3].

Уравнение Шредингера – это основное уравнение нерелятивистской квантовой механики, описывающее динамику частиц. Состояние классической частицы в любой момент времени описывается заданием ее координат и импульсов (x,y,z,p_x,p_y,p_z). Зная эти величины в момент времени t, можно определить эволюцию системы под действием известных сил во все последующие моменты времени. В квантовой физике состояние системы описывается волновой функцией $\psi(x,y,z,t)$.

Предсказание поведения квантовых точек сводится к решению стационарного уравнения Шредингера.

Однако важно понимать, что, поскольку аналитическое решение уравнения Шредингера для сложных систем часто невозможно, необходимо использовать численные методы, такие как метод конечных разностей, метод конечных элементов или метод матричной диагонализации.

Решив уравнение Шредингера, можно получить энергетические уровни электронов в квантовой точке. Энергетические уровни могут быть использованы для предсказания спектров поглощения квантовых точек. Когда квантовая точка поглощает фотон, она может перейти с одного энергетического уровня на другой. Спектр поглощения будет зависеть от разности энергий между уровнями, что можно вычислить с помощью уравнения Шредингера.

Стационарное двумерное уравнение Шредингера, записанное под формулой 1, является теоретической основой для описания квантовых систем, многие из которых исследуются численными методами [4,5]

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\left(\frac{d^2\Psi}{dx^2}+\frac{d^2\Psi}{dy^2}\right)+U(x,y)\cdot\psi(x,y)=E\,\Psi(\vec{r}),-\infty<\infty,-\infty<\infty. \quad (1)$$

где $\hbar$ –постоянная Планка;

m – масса частицы;

$d^2\Psi/dx^2$, $d^2\Psi/dy^2$ – производные второго порядка волновой функции по координатам x,y соответственно;

$U(x,y)$ – потенциальная энергия частиц в данном пространстве пространства;

E – энергия состояния частицы;

r – радиус частицы.

В данном случае для решения уравнения будет использоваться метод конечных элементов. Этот метод можно использовать для нахождения энергетического спектра связанных состояний [3].

В подавляющем большинстве работ применяются конечные элементы, функции формы которых являются интерполяционными полиномами Лагранжа определенного порядка. При этом обеспечивается непрерывность функции численного решения, однако частные производные решения не является непрерывными. Известен и другой тип конечных элементов, функции формы которых строятся на основе интерполяционных полиномов Эрмита [4]. Их применение приводит к непрерывности первой, а при необходимости, второй и более старших производных в численном решении.

В данном случае будет использоваться второй тип конечных элементов.

Численные решение задачи реализуется в конечной области $x_{min}< x < x_{max}$, $y_{min} < y < y_{max}$, размеры которой выбираются достаточно большими, чтобы не влиять на вычисляемые собственные значения, так что граничные условия принимают вид

$$\Psi(x_{min},y)=0;\Psi(x_{max},y)=0;\ \Psi(x,y_{min})=0;\Psi(x,y_{max})=0. \quad (2)$$

Для аппроксимации численного решения уравнения используется прямоугольные конечные элементы, функции формы которых получаются в виде произведения одномерных функций формы по каждой независимой переменной. В локальных координатах $-1< \alpha <1$, $-1<\beta<1$

$$\varphi_{i,j}(\alpha,\beta)=\varphi_i(\alpha)\cdot\varphi_j(\beta). \quad (3)$$

где $\varphi_{i,j}(\alpha,\beta)$ – двумерная функция;

$\varphi_i(\alpha)$, $\varphi_j(\beta)$ – одномерные функции, зависящие от α и β соответственно.

Причем одномерные функции формы являются полиномами, коэффициенты которых обеспечивают выполнение непрерывности функции и ее производной в узлах. В одномерном случае при выборе U узлов на каждом элементе это означает, что искомую функцию можно представить в виде

$$f(\alpha) = \sum_{k=1}^{U} (f_k \varphi_k(\alpha) + f'_k \varphi_{U+k}(\alpha)). \quad (4)$$

где $f(\alpha)$ – аппроксимируемая функция.

f_k – коэффициент разложения функции $\varphi_k(\alpha)$

f'_k – коэффициент разложения функции $\varphi_{U+k}(\alpha)$

$\varphi_k(\alpha)$ – эрмитовы базисные функции.

$\varphi_{U+k}(\alpha)$ – дополнительные базисные функции.

При этом эрмитовы базисные функции должны удовлетворять следующим условиям интерполяции

$$\varphi_k(\alpha_l) = \delta_{kl};\ \frac{d\varphi_{U+k}}{d\alpha}|\alpha_l = \delta_{kl};\quad k,l = 1 \dots U. \quad (5)$$

где $\varphi_k(\alpha_l)$ – значение k-й базисной функции в узле α_l;

$d\varphi_{U+k}(\alpha)/d\alpha$ – производная функции φ_{U+k} по α, взятая в точке α_l;

δ_{kl} – символ Кронекера: $\delta_{kl}\begin{cases}1, \text{ если } k=l\\ 0, \text{ если } k\neq l\end{cases}$.

При этом базисные функции являются полиномами порядка $P=2U-1$.

Далее представим численное решение уравнения (1) в виде суперпозиции функций формы конечных элементов в глобальных координатах

$$\Psi(x,y) = \sum_a \Psi_a \varphi_a(x,y), \quad (6)$$

где a – глобальный номер узла в двумерной области.

Для получения системы расчетных соотношений необходимо подставить выражение (6) для искомой волновой функции в уравнение (1). После выполнения стандартного умножения на весовые (они же – базисные) функции (3) и перехода к слабой формулировке метода взвешенных невязок можно получить задачу, обобщенную на собственные значения

$$A\Psi = \varepsilon B\Psi. \quad (7)$$

При этом матрицы A, B вычисляются суммированием отдельных конечно-элементных матриц

$$A = \sum_{e=1}^{E} A^{(e)};\ B = \sum_{e=1}^{E} B^{(e)}. \quad (8)$$

Элементы матриц вычисляются по формулам (9) и (10).

$$A_{i,j}^{(e)} = \frac{\hbar^2}{2m} \iint\limits_{(e)} \frac{d\varphi_i}{dx} \cdot \frac{d\varphi_j}{dx} dxdy + \frac{\hbar^2}{2m} \iint\limits_{(e)} \frac{d\varphi_i}{dy} \cdot \frac{d\varphi_j}{dy} dxdy + \iint\limits_{(e)} \varphi_i \varphi_j U(x,y) dxdy. \quad (9)$$

$$B_{i,j}^{(e)} = \iint\limits_{(e)} \varphi_i \varphi_j dxdy. \quad (10)$$

Учет граничных условий реализуется присвоением узловым значениям заданных значений и исключением строк и столбцов с соответствующими номерами из разреженных матриц A и B, определяющих обобщенную задачу на собственные значения.

Решение задачи (7) позволяет получить собственные значения энергии ε_n и соответствующие собственные векторы $\Psi_a^{(n)}$, содержащие значения функции и ее частных производных в узлах прямоугольной сетки [4,5].

Заключение. Численное моделирование физических процессов является важным методом для исследования квантовых точек и их спектров. С помощью современных вычислительных методов можно понять взаимодействия между квантовыми точками и окружающей средой, что, в свою очередь, способствует оптимизации их использования в шифровании. Моделирование позволяет предсказывать поведение квантовых систем, что является важным шагом для разработки новых технологий и улучшения существующих.

Список литературы

1. Алефиренко В.М., Ефремова А.Ю., Асиненко А.М. (2024) Анализ современных подходов к классификации методов шифрования. SCIENCE TIME (12), 45–50.

2. Зенков, А. В. Численные методы : учеб. пособие / А. В. Зенков. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2016. – 124 с.

3. Стренг Г., Фикс Дж. Теория метода конечных элементов: Пер. с англ. – М.: Мир, 1977.

4. Shertzer J., Botero J. Finite-element analysis of electron-hydrogen scattering //Phys.Rev.49A (1994) 3673-3679.

5. Pask J.E. Finite-element methods in electronic-structure theory //Computer Physics Communications 135 (2001) 1–34.

UDC 004.056.53–517.956.227

APPLICATION OF NUMERICAL MODELING METHODS FOR PREDICTING THE BEHAVIOR OF QUANTUM DOTS IN INFORMATION SECURITY SYSTEMS.

Yafremava A.Y.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Alefirenko V.M. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. One of the most promising solutions for information security is encryption using quantum dots. This work explores the possibility of applying numerical modeling methods to predict the behavior of quantum dot absorption spectra. The focus is on solving the two-dimensional stationary Schrödinger equation using the finite element method with Hermite basis functions. The solution of this equation yields energy levels that allow for the prediction of absorption spectra, which is essential for optimizing quantum encryption parameters and enhancing its resistance to external influences.

Keywords: quantum encryption, quantum dots, absorption spectra, numerical modeling methods, Schrödinger equation.

СЕКЦИЯ
«ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ»

УДК 616-78

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА ПАРАМЕТРОВ ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

Лужинский А.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Ревинская И.И. – ст. преподаватель кафедры ЭТТ

Аннотация. В работе рассмотрена разработка программного комплекса для бесконтактной оценки параметров внешнего дыхания по видеозаписи пациента. Предлагаемый подход сочетает алгоритмы компьютерного зрения, автоматическую калибровку измерений и модуль аналитической обработки временных рядов. Система выполняет выделение контура тела, детекцию и трекинг маркеров, перевод пиксельных расстояний в миллиметры, расчет дыхательных циклов и сохранение результатов в базе данных. Практическая значимость разработки состоит в возможности применения для скрининга, динамического наблюдения и цифрового сопровождения пульмонологических пациентов.

Ключевые слова: внешнее дыхание, бесконтактная диагностика, компьютерное зрение, спирометрия, видеоанализ, трекинг маркеров, K-means, медицинские данные.

Введение. Современная пульмонология нуждается в инструментах, которые позволяют получать количественную информацию о дыхательной функции без контакта с пациентом. Классическая спирометрия остается клиническим стандартом, однако она требует специального оборудования, непосредственного взаимодействия с обследуемым и не всегда удобна для массового скрининга. На этом фоне растет интерес к методам, в которых параметры дыхания извлекаются из видеопотока [1]. Такой подход делает исследование менее инвазивным, упрощает организацию наблюдения и позволяет использовать стандартные камеры. Задача работы заключается в создании программного комплекса, который по видеозаписи определяет динамику дыхательных движений и формирует набор показателей, пригодных для дальнейшей интерпретации медицинским специалистом.

Разработанная система построена по модульному принципу. Центральным координатором обработки выступает модуль video_processor.py, который управляет загрузкой видео, последовательным вызовом алгоритмов и формированием итогового отчета. Такое разделение логики позволило выделить независимые компоненты для сегментации, детекции маркеров, калибровки, анализа дыхательных параметров и хранения данных. Модульная архитектура упрощает сопровождение, дает возможность быстро менять отдельные алгоритмы и делает систему пригодной как для интерактивного режима с визуализацией, так и для пакетной обработки набора роликов. В качестве технологической основы выбраны Python, OpenCV, NumPy и SQLite [2-4].

Основная часть. Ключевым этапом обработки является выделение пациента на кадре и локализация опорных маркеров. Для детекции используется цветовая сегментация в пространстве HSV, поскольку она менее чувствительна к изменениям освещения, чем работа непосредственно в исходной модели BGR. После формирования бинарной маски применяются морфологические операции, позволяющие убрать шум, сгладить разрывы и оставить только релевантные контуры. Для повышения устойчивости система фильтрует найденные объекты по площади и геометрическим признакам. Это снижает число ложных срабатываний и повышает надежность измерений в реальных условиях съемки.

Параллельно с поиском маркеров решается задача сегментации тела пациента. В проекте для этого используется алгоритм K-means, который разделяет пиксели кадра на два кластера – фон и передний план. Такой подход особенно эффективен при съемке на контрастном однотонном фоне, что и предусмотрено методикой исследования. Для ускорения вычислений кластеризация выполняется не по всем пикселям, а по случайной выборке, после чего модель распространяется на весь кадр. Сформированная маска тела позволяет отсечь посторонние

объекты и дополнительно валидировать найденные маркеры, привязывая их к допустимой анатомической области [5].

После обнаружения маркеров выполняется их трекинг между соседними кадрами. Каждому маркеру присваивается идентификатор, а система сохраняет историю его положений, что позволяет сопоставлять объекты даже при кратковременном ухудшении видимости. Если маркер временно пропадает из кадра, он не удаляется сразу, а удерживается в модели в течение нескольких кадров. Дополнительно применяется сглаживание координат и измерений по скользящему окну, что уменьшает влияние шумов и случайных скачков. За счет этого временной ряд дыхательных движений становится стабильнее, а последующий расчет частоты и амплитуды дыхания оказывается более достоверным.

Важнейшей частью комплекса является калибровка масштаба. Так как исходно все расстояния измеряются в пикселях, без пересчета в физические единицы они не имеют клинической ценности. Для преобразования используется референсный квадратный маркер размером 14 мм. По его размеру на изображении определяется коэффициент пересчета пикселей в миллиметры, который может динамически обновляться при изменении условий съемки. Это решение позволяет переходить от относительных координат к количественным значениям ширины тела на разных уровнях и делает результаты сопоставимыми между различными исследованиями.

Аналитический модуль medical_tracker.py преобразует измеренные временные ряды в набор медицински значимых параметров. Система выделяет отдельные дыхательные циклы, определяет пики и впадины кривой, вычисляет амплитуду дыхательных движений, частоту дыхания, регулярность ритма и соотношение грудного и брюшного компонентов. Дополнительно рассчитываются статистические показатели: средние и медианные значения, стандартное отклонение, коэффициенты вариации и характеристики устойчивости сигнала. В результате пользователь получает не просто последовательность координат, а структурированный набор индикаторов, на основе которых можно оценивать особенности дыхательного паттерна и отслеживать его изменение во времени.

Для более глубокой интерпретации дыхательных паттернов система выполняет статистическую обработку временных рядов. Анализируются средние значения, медианы, разброс, а также частотные характеристики сигнала. Такой подход позволяет оценивать не только текущую амплитуду дыхательных движений, но и устойчивость ритма, наличие нерегулярности и выраженность колебаний в различных анатомических зонах. Благодаря этому программный комплекс пригоден не только для демонстрации движения маркеров, но и для накопления количественных данных, которые можно использовать в сравнительных исследованиях и при длительном наблюдении пациента.

Математическое описание обработки данных в упрощенной форме включает калибровку по опорному маркеру и последующий анализ временных рядов. Для опорного квадратного маркера известного размера S_ref = 14 мм коэффициент калибровки k определяется по формуле (1).

$$k = W_ref_px / S_ref \quad (1)$$

Пересчет любого расстояния из пикселей в миллиметры выполняется по формуле (2).

$$L_mm = L_px / k \quad (2)$$

Для каждой анатомической зоны i ширина контура тела и соответствующий временной ряд дыхательных движений определяются по формуле (3).

$$W_i(n) = x_R, i(n) - x_L, i(n), s_i(n) = W_i(n) / k \quad (3)$$

Для уменьшения влияния шума используется сглаживание по скользящему окну длиной m, как показано в формуле (4).

$$s_i\hat{}f(n) = (1 / m)\, sum_(j = 0)\hat{}(m - 1)\, s_i(n - j) \quad (4)$$

По сглаженному сигналу выделяются локальные максимумы и минимумы. Амплитуда дыхательного цикла и частота дыхания рассчитываются по формуле (5).

$$A_j \; = \; s_i\hat{}f(p_j) \; - \; s_i\hat{}f(q_j), RR \; = \; 60 \; N_peaks \; / \; T \qquad (5)$$

где *N_peaks* – число зарегистрированных вдохов за интервал наблюдения T.

Для оценки устойчивости ритма используется индекс регулярности, задаваемый формулой (6), а согласованность грудного и брюшного компонентов оценивается по коэффициенту корреляции согласно формуле (7).

Для оценки устойчивости ритма используется индекс регулярности

$$R \; = \; 1 \; - \; std(Delta\ p) \; / \; mean(Delta\ p) \qquad (6)$$

где *Delta p* – интервалы между соседними максимумами.

Согласованность грудного и брюшного компонентов может оцениваться по коэффициенту корреляции

$$C \; = \; corr(s_1, s_2) \qquad (7)$$

Упрощенный алгоритм работы системы включает следующие этапы: считывание кадра, перевод изображения в пространство HSV, цветовую сегментацию маркеров, морфологическую фильтрацию, сегментацию тела методом K-means в пространстве LAB, валидацию маркеров по области тела, пересчет пиксельных расстояний в миллиметры, формирование временных рядов по нескольким анатомическим уровням, выделение дыхательных циклов и расчет итоговых диагностических показателей. Такое математическое описание делает методику расчета прозрачной и связывает программную реализацию с количественными параметрами дыхания.

Для хранения результатов спроектирована база данных SQLite, включающая таблицы пациентов, видеозаписей и специализированные таблицы показателей. Такое решение обеспечивает централизованное хранение медицинской информации, быстрый доступ к результатам и возможность последующего экспорта в табличные форматы. Разделение показателей по категориям упрощает статистическую обработку и сравнение нескольких исследований одного пациента. Отдельным преимуществом является возможность автоматической синхронизации отчетов и формирование структурированных выгрузок для врача или исследователя, что снижает долю ручной работы и ускоряет анализ данных.

Система поддерживает как интерактивный, так и пакетный режим работы. В интерактивном режиме пользователь получает визуальное представление процесса анализа: отображаются контур тела, координаты маркеров и текущие измеряемые значения. Это удобно при отладке алгоритмов и первичной оценке качества записи. В пакетном режиме возможна последовательная обработка нескольких видеороликов без постоянного участия оператора, что особенно полезно при анализе серий наблюдений. Наличие двух режимов делает решение универсальным для исследовательских и прикладных задач.

Отдельно важно, что в системе предусмотрены механизмы контроля качества входных данных. Программа проверяет соответствие записи базовым условиям: съемка должна вестись в профиль, на однородном контрастном фоне, при стабильном освещении и с неподвижной камерой. Рекомендуемая длительность ролика составляет от 30 секунд до 2 минут, а размещение маркеров вдоль средней линии тела позволяет анализировать согласованность движений грудной клетки, талии и бедер. Соблюдение этих условий принципиально, потому что точность детекции и корректность калибровки напрямую зависят от качества исходного видеоматериала.

Практическая значимость разработки определяется возможностью ее применения в нескольких направлениях. Во-первых, система подходит для первичного скрининга, когда необходимо быстро получить количественную оценку дыхательной активности без сложного

оборудования. Во-вторых, она может использоваться для динамического наблюдения за пациентом в процессе лечения, когда важно сопоставлять показатели между несколькими исследованиями. Наконец, предложенная архитектура может стать основой для дальнейшей интеграции с телемедицинскими сервисами и цифровыми медицинскими платформами.

Заключение. Разработанный программный комплекс решает задачу бесконтактной оценки параметров внешнего дыхания на основе видеоанализа и объединяет в едином процессе сегментацию тела, детекцию и трекинг маркеров, калибровку измерений и расчет клинически значимых показателей. Практическая ценность работы состоит в возможности использовать систему для первичного скрининга, мониторинга динамики лечения и дальнейшей интеграции в цифровые медицинские сервисы. Полученные результаты подтверждают перспективность применения методов компьютерного зрения для функциональной диагностики дыхательной системы.

Список литературы

1. *Ревинская, И. И. Методика оценки легочных объемов на основе записи биомеханики дыхательных движений = Methodology for Assessing Lung Volumes Based on Recording the Biomechanics of Respiratory Movements / И. И. Ревинская, П. В. Камлач // Доклады БГУИР. – 2023. – Т. 21, № 6. – С. 92–98*

2. *OpenCV: Open Source Computer Vision Library [Электронный ресурс]. - Режим доступа: opencv.org.*

3. *NumPy: фундаментальная библиотека для научных вычислений в Python [Электронный ресурс]. - Режим доступа: numpy.org.*

4. *SQLite: встраиваемая реляционная база данных [Электронный ресурс]. - Режим доступа: sqlite.org.*

5. *Scikit-learn: библиотека машинного обучения для Python [Электронный ресурс]. - Режим доступа: scikit-learn.org.*

UDC 616-78

FUNCTIONAL DIAGNOSTICS OF EXTERNAL RESPIRATION PARAMETERS USING COMPUTER VISION

Luzhinsky A.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Scientific supervisor: Revinskaya I.I. - Senior Lecturer of the Department of ETT

Annotation. The paper presents a software system for contactless assessment of external respiration parameters based on patient video analysis. The proposed approach combines body segmentation, marker detection and tracking, automatic scale calibration, time-series processing and storage of calculated indicators in a database. The developed solution is focused on quantitative analysis of respiratory motion and can be used both in real-time operation and in batch processing mode.
The software determines the patient contour, detects reference markers, converts pixel distances into millimeters, identifies breathing cycles and calculates clinically significant indicators, including respiratory rate, amplitude and rhythm stability. The modular architecture also includes a database layer for structured storage and export of results. This makes the proposed system suitable for screening, follow-up observation and further integration into digital medical services.

Keywords. external respiration, contactless diagnostics, computer vision, spirometry, video analysis, marker tracking.

УДК 615.47:004.31

ПОРТАТИВНЫЙ АППАРАТ ИСКУССТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ЛЕГКИХ

Богданович В.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель Бондарик В.М. – к. т. н., доцент, доцент кафедры ЭТТ

Аннотация. Предложен проект портативного аппарата искусственной вентиляции легких для экстренной помощи. Разработанный микропроцессорный алгоритм обеспечивает адаптацию параметров вентиляции к пациенту без датчиков потока, используя метод косвенной калибровки объема. Система реализует режим принудительной вентиляции легких с контролем давления, включает дыхательные паузы и активную стабилизацию давления для безопасности. Решение направлено на создание доступного и автономного устройства.

Ключевые слова: Аппарат искусственной вентиляции легких, микроконтроллер, портативная медтехника, датчик давления, автоматизация вентиляции легких.

Введение. Актуальность разработки портативных систем искусственной вентиляции легких (ИВЛ) обусловлена необходимостью оказания экстренной помощи вне стационарных условий: в машинах скорой помощи, при спасательных операциях или в условиях дефицита стационарного оборудования. В отличие от громоздких стационарных систем, портативный аппарат должен сочетать в себе надежность, малые габариты и автономность.

Основная часть. В основе работы разработанного портативного аппарата ИВЛ лежит оригинальный алгоритм микропроцессорного управления, обеспечивающий адаптивность системы к индивидуальным параметрам пациента в условиях отсутствия дорогостоящих датчиков потока.

Одной из ключевых проблем при проектировании бюджетных портативных систем является измерение объема легких. В данной работе предложен метод косвенного определения коэффициента объема.

Реализация системы управления портативным аппаратом ИВЛ базируется на взаимодействии микропроцессорного блока с исполнительными механизмами и датчиками, представленными на структурной схеме (рисунок 1). Работа устройства начинается с этапа инициализации, где пользователю предоставляется возможность выбора максимального рабочего давления. Данный параметр является критическим для обеспечения безопасности пациента. Поскольку в бюджетной конфигурации устройства отсутствует дорогостоящий датчик объема потока воздуха, в основу алгоритма положен метод расчета коэффициента объема легких. Для этого система запускает пробный цикл: насос включается на 25% мощности в прямом направлении при открытом клапане вдоха и закрытом клапане выдоха. Микроконтроллер фиксирует время t, за которое давление в контуре достигает заданного пользователем порога.

На основе полученных данных вычисляется коэффициент k по формуле 1:

$$k = v \cdot t\,, \tag{1}$$

где v – скорость работы насоса;

t – время работы насоса.

Этот коэффициент, хотя и не является абсолютным физическим объемом, служит базовой константой для всех последующих вычислений и настройки динамики привода.

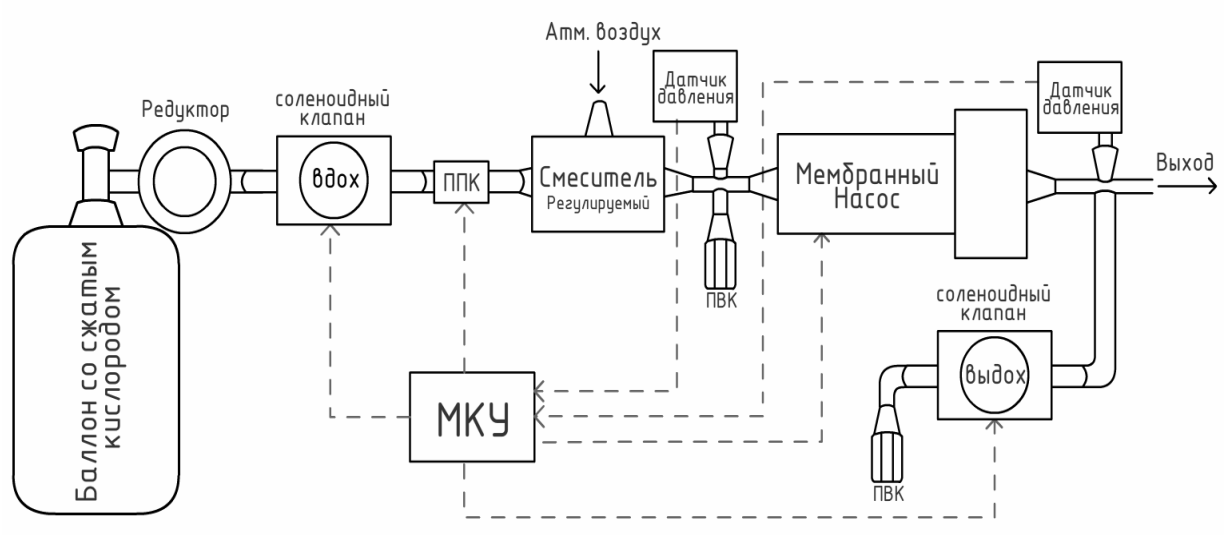


Рисунок 1 – Схема функциональная портативного аппарата ИВЛ

Следующим этапом функционирования является расчет временных и скоростных параметров дыхательного цикла на основе заданной пользователем частоты (количества циклов в минуту). Алгоритм автоматически определяет время полуцикла *tb* по формуле 2:

$$tb = 25/f, \quad (2)$$

где f – количество дыхательных циклов в минуту.

При этом программно заложено равенство фаз вдоха и выдоха, а для улучшения газообмена введена дыхательная пауза, составляющая 1/5 от времени вдоха. Скорость работы насоса в рабочем режиме рассчитывается как отношение коэффициента *k* к времени вдоха. Такая математическая модель позволяет адаптировать интенсивность подачи газовой смеси под индивидуальную растяжимость легких пациента, обеспечивая при этом соблюдение временного регламента вентиляции.

Непосредственный процесс вентиляции реализуется через циклическое переключение состояний исполнительных механизмов, указанных на схеме. В фазе вдоха насос нагнетает смесь, клапан вдоха открыт, клапан выдоха – закрыт. В следующей за ней паузе насос останавливается, а клапан на вдох закрывается, удерживая давление. Фаза выдоха характеризуется открытием клапана выдоха при закрытом клапане вдоха, что позволяет смеси беспрепятственно выходить из легких. Завершается цикл повторной паузой с закрытием клапана выдоха. Весь процесс сопровождается непрерывным мониторингом состояния системы: при падении давления в дыхательном контуре ниже допустимого уровня микроконтроллер мгновенно выводит предупреждение на ЖКИ-дисплей, сигнализируя о возможной разгерметизации или нехватке дыхательной смеси.

Особое значение для стабильности системы имеет узел, который предотвращает возникновение избыточного или разряженного давления в трубке перед насосом. Алгоритм управления предусматривает динамическую корректировку степени открытия пропорционального пневматического клапана (ППК) на основе данных с датчика давления. При обнаружении отклонений микроконтроллер пропорционально пересчитывает угол открытия клапана, где с каждой последующей итерацией изменяемый угол становится всё меньше, до тех пор, пока система не станет равновесной. Такое регулирование позволяет компенсировать пульсации давления в реальном времени, обеспечивая плавность подачи смеси и защищая механические компоненты аппарата от перегрузок. Сочетание описанного алгоритма с выбранной архитектурой позволяет создать надежную и автоматизированную систему, способную поддерживать жизнедеятельность пациента в экстренных условиях.

Заключение. В результате работы была спроектирована микропроцессорная система управления портативным аппаратом искусственной вентиляции легких, ориентированная на применение в условиях экстренной медицины. На основе анализа существующих методов вентиляции был выбран алгоритм управления по давлению, который в сочетании с предложенным методом косвенного расчета коэффициента объема легких позволяет адаптировать работу устройства под индивидуальные особенности пациента без использования дорогостоящих датчиков потока.

Практическая значимость работы заключается в создании экономически доступного решения на базе микроконтроллерного управления. Интеграция системы активного мониторинга давления и автоматизированного управления пропорциональным пневматическим клапаном позволила минимизировать риски возникновения баротравм и повысить стабильность подачи газовой смеси. Предложенная архитектура устройства может служить базой для создания опытного образца портативного реанимационного оборудования.

Список литературы

1. *Горячев, А.С. Основы ИВЛ / А.С. Горячев, И.А. Савин. – Москва : ООО «МД», 2013. – 258 с.*

2. *Алексеев, В.Ф. Конструирование и технология электронных систем. Курсовое проектирование. / А.А. Костюкевич, В.М. Бондарик, А.П. Достанко, В.Ф. Алексеев. – Минск : БГУИР, 2012. – 119 с.*

UDC 615.47:004.31

PORTABLE ARTIFICIAL LUNG VENTILATION DEVICE

Bahdanovich V.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Bondarik V.M. – Cand. of Sci., Associate Professor, Associate Professor of the Department of ETT

Annotation. A project of a portable artificial lung ventilation device for emergency care is proposed. The developed microprocessor-based algorithm enables adaptation of ventilation parameters to the patient without flow sensors, using an indirect volume calibration method. The system implements a pressure-controlled mandatory ventilation mode, includes breathing pauses, and active pressure stabilization for safety. The solution is aimed at creating an affordable and autonomous device.

Keywords: Artificial lung ventilation device, microcontroller, portable medical equipment, pressure sensor, ventilation automation

УДК 616-71:612.122.1

АМПЕРОМЕТРИЧЕСКИЙ ГЛЮКОМЕТР С МОБИЛЬНЫМ ПРИЛОЖЕНИЕМ

Немченкова А.Д.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Лушакова М.С. – ст. преподаватель кафедры ЭТТ

Аннотация. Представлена разработка портативного глюкометра, основанного на амперометрическом методе измерения. Проведен анализ существующих аналогов и методов, на основе которого выбрана оптимальная архитектура устройства. Предложена структурная схема глюкометра, включающая модуль беспроводной передачи данных для взаимодействия с мобильным устройством. Приведена математическая модель для вычисления концентрации глюкозы на основе данных аналого-цифрового преобразователя.

Ключевые слова: глюкометр, амперометрический метод, микроконтроллер, мобильное приложение.

Введение. Сахарный диабет является одним из наиболее распространенных неинфекционных заболеваний в мире, и эффективный контроль гликемии требует регулярных измерений уровня глюкозы в крови [1]. Современные тенденции развития медицинской техники направлены на интеграцию портативных диагностических устройств с мобильными платформами, что позволяет автоматизировать сбор данных, вести историю наблюдений и своевременно корректировать терапию. Традиционные глюкометры, обладая встроенной памятью, не всегда предоставляют удобные инструменты для анализа долгосрочной динамики показателей [2].

Таким образом, актуальной задачей является разработка амперометрического глюкометра, оснащенного модулем беспроводной связи для синхронизации с мобильным приложением. Данный подход позволяет объединить точность амперометрического метода измерения с возможностями современных смартфонов по обработке и визуализации данных.

Основная часть. При разработке глюкометра с возможностью беспроводной передачи данных на мобильное устройство был использован амперометрический метод измерения глюкозы, основанный на накоплении электронов, возникающих при окислении ферроцианида калия, который предварительно восстановился в ходе ферментативной реакции глюкозы с глюкооксидазой на тест-полоске [3].

Для проектирования устройства необходимо:

– обеспечить точное преобразование слабого тока электрохимической реакции тест-полоски в цифровой сигнал;

– обеспечить надежную целостную передачу данных по беспроводному каналу связи с минимальным энергопотреблением;

– разработать интуитивно понятный пользовательский интерфейс в мобильном приложении для отображения результатов и статистики.

Для решения вышеперечисленных задач разработана структурная схема устройства, представленная на рисунке 1, которая отражает взаимодействие всех ключевых функциональных узлов [4]:

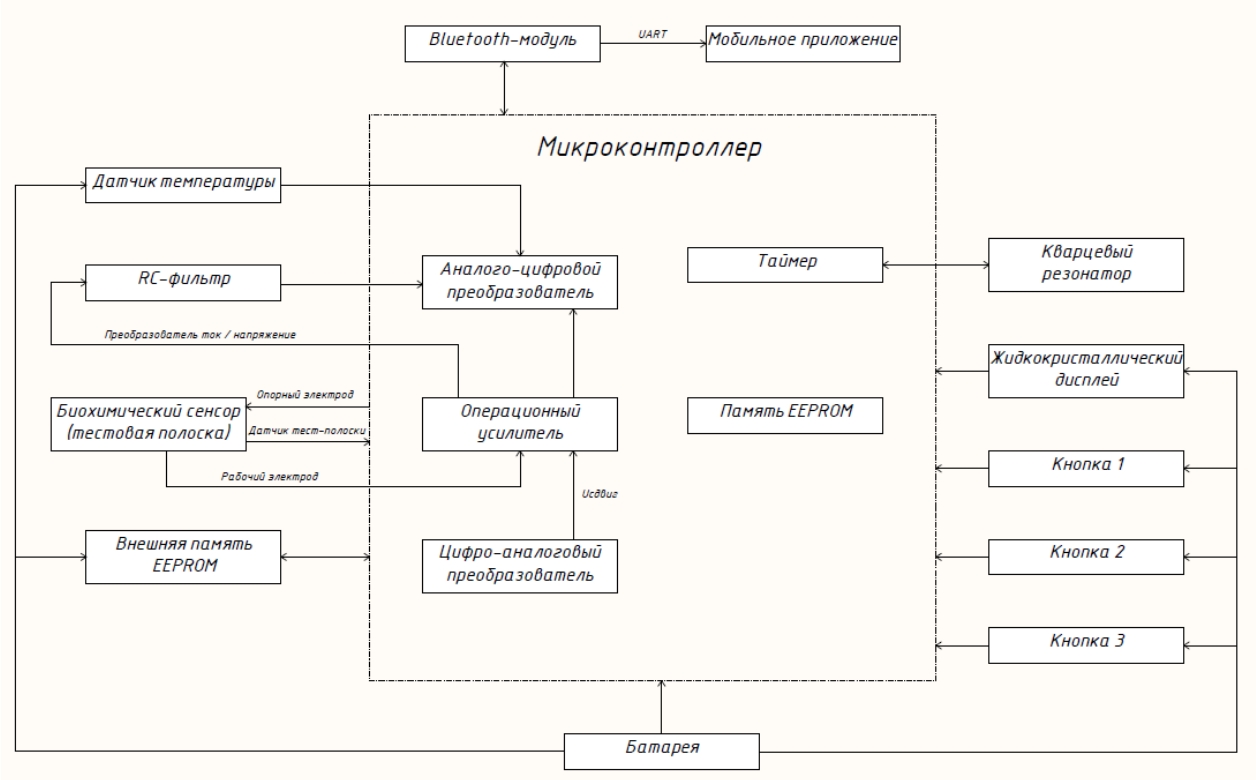


Рисунок 1 – Структурная схема амперометрического глюкометра

Центральным элементом устройства является микроконтроллер *PIC16LF178X*, выбранный благодаря своей энергоэффективности и наличию необходимой периферии: 12-битного АЦП и интерфейсов связи [5]. Тест-полоска подключается через разъем, а возникающий ток преобразуется в напряжение с помощью встроенного операционного усилителя. Датчик температуры обеспечивает коррекцию результатов в зависимости от температуры окружающей среды.

Ключевым отличием разрабатываемой системы является наличие модуля беспроводной связи на базе *Bluetooth Low Energy (BLE*), который обеспечивает передачу результатов измерений в мобильное приложение, установленное на смартфоне пользователя. Передача данных происходит автоматически сразу после вывода результатов измерения на дисплей глюкометра, что исключает необходимость выполнения пользователем дополнительных действий для синхронизации, упрощает устройство и экономит заряд.

Для данного типа устройств важным является создание мобильного приложения для обеспечения пользователю доступа к данным о измерениях в любой момент времени. В разрабатываемом приложении результаты измерений отображаются в формате: «уровень глюкозы в крови, дата, время». Особое внимание уделено возможности просмотра результатов за выбранный промежуток времени, что позволяет пользователю отслеживать динамику изменений уровня глюкозы и выявлять закономерности, связанные с режимом питания, физической активностью или приемом лекарственных препаратов.

Для получения итогового значения концентрации глюкозы используется математическая обработка цифрового сигнала с АЦП. После усреднения выборок применяется следующая формула [6]:

$$Y = m \cdot X + C, \qquad (1)$$

где Y – концентрация глюкозы в крови, ммоль/л;

m – крутизна;

X – среднее значение АЦП выходного напряжения операционного усилителя;
C – константа.

В первую очередь результат измерения выводится на ЖК-дисплей глюкометра, что позволяет пользователю оперативно узнать уровень глюкозы независимо от наличия смартфона, параллельно с отображением на экране данные автоматически передаются в мобильное приложение для последующего хранения и анализа. Если под рукой нет телефона или синхронизация временно недоступна, глюкометр сохраняет последние измерения во встроенную память, что позволяет просмотреть до 500 последних записей непосредственно на устройстве. Это обеспечивает автономность использования прибора и гарантирует доступ к актуальным данным в любой ситуации

Заключение. Выполнено проектирование амперометрического глюкометра с интеграцией мобильного приложения. Предложена архитектура, объединяющая аппаратную часть устройства на базе микроконтроллера *PIC16LF178X* с программным обеспечением для смартфона, обеспечивающим автоматический сбор и анализ данных. Автономность использования прибора обеспечивается за счет первоочередного вывода результатов на встроенный ЖК-дисплей и сохранения более 500 последних записей во внутренней памяти микроконтроллера при отсутствии синхронизации со смартфоном. Предложено использование разработанной структурной схемы и математической модели вычисления концентрации глюкозы при создании современных средств самоконтроля для пациентов с сахарным диабетом.

Список литературы

1. *International Diabetes Federation [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://idf.org/about-diabetes/diabetes-facts-figures/ – Дата доступа: 17.02.2026.*

2. *Как работает глюкометр [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://medoptica.by/articles/kak-rabotaet-glyukometr – Дата доступа: 17.02.2026.*

3. *Амперометрия: обзор [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.jove.com/ru/science-education/v/14570/amperometry-overview – Дата доступа: 17.02.2026.*

4. *Эмануэль В.Л., Карягина И.Ю., Эмануэль Ю.В. Портативные системы самоконтроля и лабораторный анализ концентрации глюкозы в крови // Лабораторная медицина. – 2003. – №6.*

5. *Microchip Technology [Электронный ресурс]: Documentation / Programming Specifications. – Режим доступа: 41457E.pdf.*

6. *Microchip Technology [Электронный ресурс]: Documentation / Application Notes. – Режим доступа: 00001560A.pdf.*

УДК 616-71:612.122.1

AMPEROMETRIC GLUCOSE METER WITH A MOBILE APPLICATION

Nemchenkova A.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Lushakova M.C. – Senior Lecturer of the Department of ETT

Annotation. This article presents the development of a portable glucometer based on the amperometric measurement method. An analysis of existing materials and methods was conducted, which served as the basis for selecting the optimal device architecture. A flowchart of a glucometer is proposed, including a wireless data transmission module for interaction with a mobile device. A mathematical model for calculating glucose concentration based on analog-to-digital converter data is presented. The results can be used to develop modern glucose self-monitoring tools.

Keywords: glucose meter, amperometric method, microcontroller, mobile application.

УДК 616.618-7

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИИ-АССИСТЕНТОВ В СИСТЕМАХ ЖИДКОСТНОЙ ЦИТОЛОГИИ ДЛЯ СОКРАЩЕНИЯ ВРЕМЕНИ ЧТЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

Печёнов М.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Бондарик В.М. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ЭТТ

Аннотация. Рассмотрены подходы к применению ИИ-ассистентов в жидкостной цитологии (LBC) для повышения производительности лабораторного скрининга. Выполнен сравнительный анализ полуавтоматических имиджинг-систем и цифровой цитологии на основе полноформатного сканирования препарата (WSI) и методов машинного обучения. Показано, что ИИ-подсказки позволяют сократить время чтения препарата без ухудшения ключевых показателей качества при соблюдении ограничений по нагрузке и протоколов валидации.

Ключевые слова: жидкостная цитология, скрининг, искусственный интеллект, цифровая цитология, время чтения, производительность.

Введение. Жидкостная цитология (Liquid-Based Cytology, LBC) широко применяется в скрининге заболеваний шейки матки благодаря высокой эффективности метода. Рост объёма исследований и дефицит подготовленных специалистов приводят к увеличению нагрузки и времени выдачи результатов. Поэтому актуальна интеграция ИИ-ассистентов, поддерживающих специалиста на этапах предварительного скрининга, приоритизации и навигации по объектам интереса, сокращая время чтения при сохранении диагностического качества [1-4].

Цель работы – обобщить данные о влиянии ИИ-ассистентов в LBC на время чтения результатов и предложить практический подход к их внедрению в лабораторный процесс с учетом требований к качеству и ограничений по нагрузке [5-8].

Материалы и методы. Проведён анализ 13 источников (научных публикаций и официальных документов), посвящённых полуавтоматическим имиджинг-системам для LBC (ThinPrep Imaging System, BD FocalPoint GS) [1, 2, 5, 6] и системам цифровой цитологии на базе полноформатного сканирования препарата (WSI) с ИИ-подсказками (в т. ч. Hologic Genius Digital Diagnostics System) [3, 4, 7, 9-11]. В качестве первичного показателя эффективности рассматривалось среднее время чтения/скрининга одного препарата (с/препарат), а также вторичные метрики: согласованность заключений, чувствительность/специфичность для клинически значимых категорий и влияние нагрузки на показатели качества [5-8].

Основная часть. Полуавтоматические имиджинг-системы (первое поколение ассистентов) выполняют предварительный анализ препарата и предлагают ограниченное число полей зрения для просмотра. В хронометражном исследовании для ThinPrep Imaging System показано сокращение времени скрининга в среднем на 42 % относительно ручного чтения [1]. В трехстороннем сравнительном исследовании подтверждена сопоставимость диагностических результатов между режимами работы при корректной организации процесса [2]. Однако ускорение не должно достигаться за счет превышения безопасной нагрузки: при повышении ежедневного числа препаратов ухудшаются показатели эффективности скрининга даже при использовании автоматизированных систем [5].

Современные ИИ-ассистенты (второе поколение) опираются на цифровое полноформатное сканирование клеточного пятна (WSI) и формируют для читателя «галерею» объектов интереса, снижая объём навигации по препарату и число повторных просмотров. В исследовании организации рабочего процесса показано сокращение времени чтения при переходе с ThinPrep Imaging System на Genius Digital Diagnostics System (с 138,0 с до 70,1 с на препарат) при сохранении сопоставимой точности [4]. Клинические оценки и валидационные

работы подтверждают применимость подхода «цифровая цитология + ИИ» в лабораторных условиях [9-11].

Наиболее выраженный эффект по времени показан в исследованиях ИИ-подсказок на основе методов глубокого обучения при оценке LBC по полносканированным изображениям (WSI): в многочитательском дизайне среднее время чтения снизилось с 218 с до 30 с на препарат. При этом показатели качества интерпретации сохранялись, а у менее опытных специалистов отмечался рост диагностической уверенности [3]. Ключевой механизм экономии времени – уменьшение «поискового» этапа, когда специалист тратит значительную долю времени на навигацию и поиск редких диагностически значимых клеток.

Для практического внедрения ИИ-ассистента целесообразно оценивать эффект в двух плоскостях: (1) экономия времени чтения препарата и (2) соблюдение ограничений по нагрузке, установленных для цитологического скрининга. Официальные документы и регуляторные материалы указывают необходимость расчета нагрузки с учетом полуавтоматизированных режимов и соблюдения нормативов по максимальному числу препаратов за смену [6-8]. В противном случае повышение пропускной способности может сопровождаться ростом диагностических ошибок [5].

Сводные данные по влиянию различных классов ассистентов на время чтения приведены в таблице 1. Представленная таблица может использоваться как аргумент для обоснования внедрения в лаборатории и для выбора сценария пилотного тестирования.

Таблица 1 – Примеры влияния ИИ-ассистентов на время чтения/скрининга препаратов LBC

Класс решения	**Система/сравнение**	**Показатель времени**	**Результат**	**Источник**
Имиджинг (полуавтомат.)	ThinPrep Imaging System (сравнение с ручным чтением)	Время скрининга	−42 %	[1]
Цифровая цитология + ИИ	Genius Digital Diagnostics System vs ThinPrep Imaging System	Время чтения, с/препарат	138,0 → 70,1	[4]
Глубокое обучение (WSI)	ИИ-подсказки (многочитательское исследование)	Время чтения, с/препарат	218 → 30	[3]

Практический подход к внедрению. Для лаборатории, планирующей внедрение ИИ-ассистента в LBC, рекомендуется следующий минимальный план:

– определить целевой участок процесса (предскрининг, триаж, пересмотр патологом);

– провести локальную валидацию (согласованность заключений, частота дообследований, доля недооценок) по репрезентативной выборке до и после внедрения [10, 11];

– фиксировать метрики времени (с/препарат) и анализировать распределения, а не только средние значения;

– рассчитать допустимую нагрузку с учетом режима работы и регуляторных рекомендаций [6-8];

– внедрить внутренний контроль качества (выборочная повторная проверка, анализ расхождений, мониторинг лабораторных индикаторов).

Ограничения. Данные по времени и качеству зависят от уровня подготовки читателей, протокола разметки объектов интереса и качества сканирования. Перенос моделей между лабораториями может требовать дополнительной настройки из-за различий в подготовке препаратов и оптике сканирования [12, 13].

Заключение. ИИ-ассистенты в системах жидкостной цитологии позволяют существенно сократить время чтения результатов: для имиджинг-систем показано снижение времени скрининга на 42% [1], а для решений на базе цифровой цитологии и методов глубокого обучения – сокращение времени чтения в 2 раза и более (до ~7 раз в отдельных исследованиях) [3, 4]. Практический эффект достигается при обязательной лабораторной валидации, контроле метрик качества и соблюдении ограничений по нагрузке [5-8]. Перспективы дальнейшего

развития ИИ-ассистентов в LBC связаны с переходом к более глубокой интеграции в лабораторный рабочий процесс: от подсказок при просмотре к поддержке триажа, автоматизированному контролю качества препарата и стандартизации критериев интерпретации. Одним из ключевых направлений является накопление репрезентативных локальных наборов данных и проведение многоцентровых проверок, что позволит повысить переносимость алгоритмов между лабораториями и снизить риск снижения качества при росте производительности. Дальнейшее развитие также видится в создании прозрачных правил принятия решений (интерпретируемых подсказок), настройке порогов чувствительности под задачи конкретной лаборатории и в формализации протоколов внедрения и мониторинга качества после запуска системы.

Список литературы

1. *Automated screening versus manual screening: a comparison of the ThinPrep imaging system and manual screening in a time study / D. Schledermann, T. Hyldebrandt, D. Ejersbo, B. Hoelund // Diagn Cytopathol. 2007. Vol. 35, No 6. P. 348-352. DOI: 10.1002/dc.20640.*

2. *A three-armed trial of the ThinPrep Imaging System / J. M. Roberts, J. K. Thurloe, R. C. Bowditch [et al.] // Diagn Cytopathol. 2007. Vol. 35, No 2. P. 96-102. DOI: 10.1002/dc.20600.*

3. *Deep learning enabled liquid-based cytology model for cervical precancer and cancer detection / P. Xue [et al.] // Nat Commun. 2025. Vol. 16, No 1. Art. 3506. DOI: 10.1038/s41467-025-58883-3.*

4. *Impact of the Genius Digital Diagnostics System on workflow and accuracy compared with the ThinPrep Imaging System for review of ThinPrep Papanicolaou tests / K. M. Murphy [et al.] // Am J Clin Pathol. 2025. Vol. 164, No 5. P. 746-751. DOI: 10.1093/ajcp/aqaf099.*

5. *Increasing cytotechnologist workload above 100 slides per day using the BD FocalPoint GS imaging system negatively affects screening performance / A. W. Levi [et al.] // Am J Clin Pathol. 2012. Vol. 138, No 6. P. 811-815. DOI: 10.1309/AJCPTYDD9G2NCUMF.*

6. *SUMMARY OF SAFETY AND EFFECTIVENESS DATA (SSED): BD FocalPoint GS Imaging System (P950009/S008) [Электронный ресурс]. FDA, 2008. Дата доступа: 01.03.2026.*

7. *Genius Digital Diagnostics System with Genius Cervical AI. Instructions for Use. MAN-11010-001 Rev. 002 (05-2024) [Электронный ресурс]. Hologic, 2024. Дата доступа: 01.03.2026.*

8. *How Laboratorians Can Safely Calculate Workload for FDA-Approved Semi-Automated Gynecologic Cytology Screening Devices [Электронный ресурс]. FDA/CMS, 2010. Дата доступа: 01.03.2026.*

9. *Comparison of the Hologic Genius Digital Diagnostics System with the ThinPrep Imaging System - A retrospective assessment / H. Ikenberg [et al.] // Cancer Cytopathol. 2023. Vol. 131, No 7. P. 424-432. DOI: 10.1002/cncy.22695.*

10. *Validation of AI-assisted ThinPrep Pap test screening using the Genius Digital Diagnostics System / R. L. Cantley [et al.] // J Pathol Inform. 2024. Vol. 15. Art. 100391. DOI: 10.1016/j.jpi.2024.100391.*

11. *Assessment of the efficacy and accuracy of cervical cytology screening with the Hologic Genius Digital Diagnostics System / E. Elishaev [et al.] // Cancer Cytopathol. 2025. Art. e70022. DOI: 10.1002/cncy.70022.*

12. *A Deep Learning Model for Cervical Cancer Screening on Liquid-Based Cytology Specimens in Whole Slide Images / F. Kanavati [et al.] // Cancers (Basel). 2022. Vol. 14, No 5. Art. 1159. DOI: 10.3390/cancers14051159.*

13. *A systematic review of deep learning-based cervical cytology screening: from cell identification to whole slide image analysis / P. Jiang [et al.] // Artif Intell Rev. 2023. Vol. 56 (Suppl 2). P. 2687-2758. DOI: 10.1007/s10462-023-10588-z.*

UDC 616.618-7

AI ASSISTANTS IN LIQUID-BASED CYTOLOGY SYSTEMS FOR REDUCING RESULT READING TIME

Piachonau M.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Bondarik V.M. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ETaT

Annotation. This paper reviews AI-assisted approaches in liquid-based cytology (LBC) aimed at improving screening productivity. Two solution classes are compared: semi-automated imaging systems and digital cytology based on whole-slide imaging with machine learning assistance. Published evidence demonstrates a substantial reduction in slide review time while maintaining quality metrics, provided that workload limits and laboratory validation protocols are followed.

Keywords: liquid-based cytology, screening, artificial intelligence, digital cytology, reading time, productivity.

УДК 612.171.1+004.772

ПОРТАТИВНЫЙ 3-Х КАНАЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФ С WI-FI МОДУЛЕМ

Блажко У.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Лушакова М.С. – ст. преподаватель кафедры ЭТТ

Аннотация. Представлена структурная схема портативного 3-х канального электрокардиографа с Wi-Fi модулем на базе микроконтроллера STM32H743VIT6. Устройство предназначено для диагностики сердечно-сосудистых заболеваний, включая выявление нарушений ритма, ишемических изменений и других патологий и может быть использовано в системах телемедицины для удаленного мониторинга состояния пациентов

Ключевые слова: электрокардиограф, ЭКГ, микроконтроллер, STM32H743VIT6, структурная схема, Wi-Fi, Bluetooth

Введение. Сердечно-сосудистые заболевания занимают лидирующие позиции в структуре смертности населения. Одним из традиционных методов диагностики является использование стационарных электрокардиографов, требующих присутствия медицинского персонала, что ограничивает возможность непрерывного мониторинга. Таким образом, разработка портативных систем дистанционного мониторинга ЭКГ является актуальным направлением в мобильном здравоохранении. Особенностью представленного устройства является встроенный Wi-Fi и Bluetooth модуль, обеспечивающий передачу зарегистрированных биомедицинских сигналов на удаленный сервер или мобильное приложение.

Основная часть. 3-х канальный электрокардиограф позволяет получить данные о частоте ритма, сердечных сокращений. При помощи аппарата можно выявить малейшие признаки кислородного голодания, а также утолщения отделов сердца, ишемической болезни, аритмии, инфаркта миокарда [1].

В качестве программно-аппаратной платформы для портативного электрокардиографа был выбран микроконтроллер STM32H743VIT6. Микроконтроллер имеет широкий набор периферийных интерфейсов для обеспечения гибкости в подключении внешних устройств. Среди них четыре порта I2C, четыре порта UART, шесть портов SPI (с поддержкой I2S) и два порта CAN. Это позволяет использовать его в различных устройствах, требующих высокой скорости передачи данных. Микроконтроллер STM32H743VIT6 имеет три 16-битных аналогово-цифровых преобразователя (АЦП), два 12-битных цифро-аналоговых преобразователя (ЦАП) и встроенный датчик температуры для мониторинга температуры процессора [2]. Выбор данного микроконтроллера обусловлен высокой производительностью (ядро Cortex-M7 с частотой до 480 МГц), а также достаточным объемом памяти (2 Мбайт Flash и 1 Мбайт RAM) для реализации алгоритмов цифровой фильтрации и анализа ЭКГ в реальном времени.

Согласно структурной схеме проектируемого устройства, представленной на рисунке 1, разрабатываемый 3-х канальный портативный кардиограф состоит из следующих основных функциональных блоков: кабель ЭКГ с электродами, блок обработки сигнала ЭКГ, микроконтроллер STM32H743VIT6 со встроенными аналогово-цифровыми преобразователями (АЦП), модуль беспроводной связи (Wi-Fi/Bluetooth), TFT-дисплей, карта памяти для хранения данных, а также аккумуляторная батарея с блоком питания.

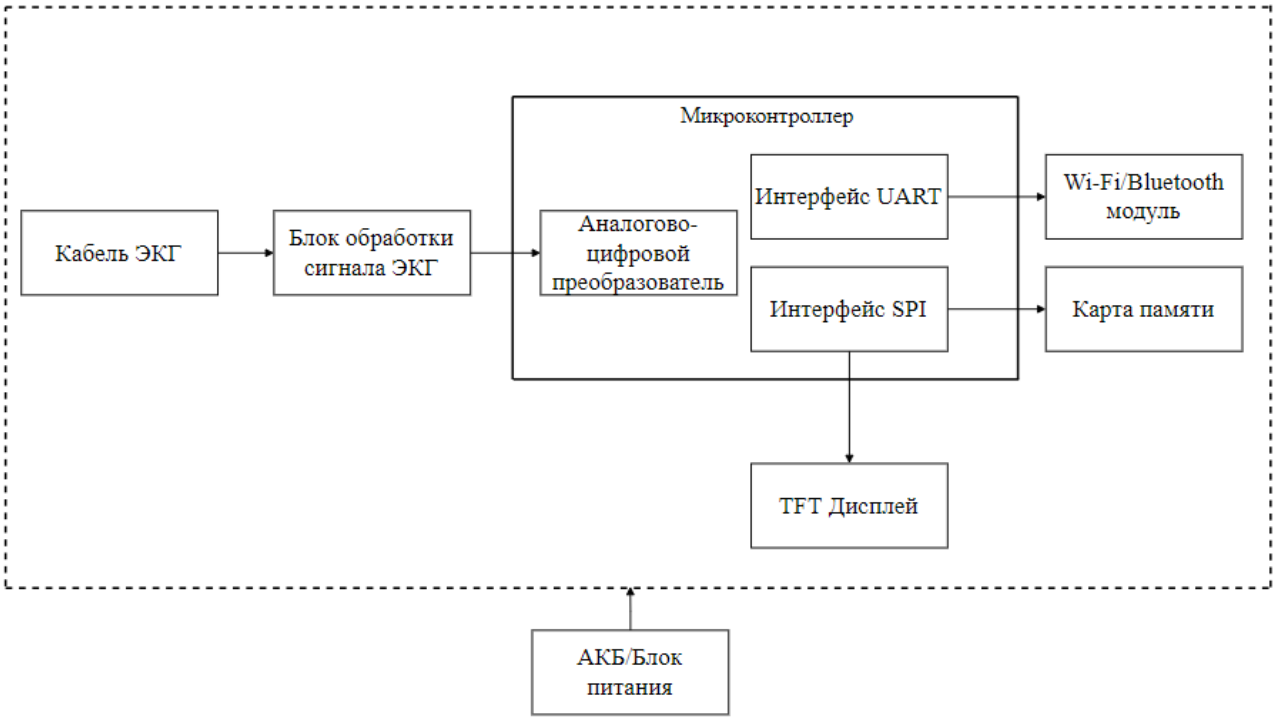


Рисунок 1 – Схема электрическая структурная портативного 3-х канального электрокардиографа с Wi-Fi модулем

Кабель ЭКГ подключается к пациенту с помощью трех пар электродов, соответствующих трем каналам съема электрокардиосигнала. Сигналы с электродов поступают на блок обработки сигнала ЭКГ, который выполняет первичное усиление, фильтрацию помех и подавление синфазной составляющей. Далее обработанный аналоговый сигнал с выхода блока обработки поступает на вход микроконтроллера STM32H743VIT6, где оцифровывается с помощью трех встроенных 16-битных АЦП, работающих одновременно. Микроконтроллер не только оцифровывает сигналы, но и реализует алгоритмы цифровой обработки: подавление сетевых помех режекторным фильтром, выделение QRS-комплексов, расчет вариабельности сердечного ритма. Благодаря высокой тактовой частоте и большому объему памяти возможна работа в режиме реального времени без потери данных.

Карта памяти служит для резервного хранения данных. Это особенно важно при потере связи с внешними устройствами – запись сохраняется локально и может быть передана позже. Используется карта типа microSD с файловой системой FAT32 для совместимости с ПК. Карта памяти подключается к микроконтроллеру по интерфейсу SPI или SDIO.

Модуль Wi-Fi/Bluetooth обеспечивает двустороннюю связь: передачу зарегистрированных сигналов на внешние устройства и прием управляющих команд (например, запуск/остановка записи, смена режима). В зависимости от условий может использоваться как Bluetooth для связи с мобильным приложением, так и Wi-Fi для передачи данных в облачный сервис. Модуль подключается к микроконтроллеру по интерфейсу UART или SPI.

TFT-дисплей позволяет визуально контролировать качество наложения электродов и корректность регистрации сигнала непосредственно во время съема. На экран также может выводится сообщение о критических изменениях ритма или низком заряде батареи. TFT-дисплей подключается по SPU или параллельному интерфейсу.

Питание всех узлов осуществляется от аккумуляторной батареи через блок питания, который содержит стабилизаторы напряжения для получения необходимых уровней 3.3 В и 5 В.

Заключение. В работе представлена разработка портативного трехканального электрокардиографа, предназначенного для диагностики сердечно-сосудистых заболеваний.

Устройство позволяет регистрировать ЭКГ по трем каналам, выявлять нарушений ритма, ишемические изменения и другие патологии на ранних стадиях.

Благодаря использованию микроконтроллера STM32H743VIT6 обеспечивается высокая точность измерений и возможность синхронной обработки сигналов. Наличие Wi-Fi/Bluetooth модуля позволяет передавать данный врачу в режиме реального времени, что делает устройство эффективным инструментом для телемедицины и удаленного мониторинга пациентов из групп риска.

Список литературы

1. *MedMart [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://medmart.pro/catalog/elektrokardiografy-3-kanalnye – Дата доступа: 20.02.2026.*

2. *Вольтик [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://voltiq.ru/shop/stm32h743vit6-dev-board/ – Дата доступа: 21.02.2026.*

UDC 612.171.1+004.772

PORTABLE 3-CHANNEL ELECTROCARDIOGRAPH WITH WI-FI MODULE

Blazhko U.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Lushakova M.C. – Senior Lecturer at the Department of ETT

Annotation. A block diagram of a portable 3-channel electrocardiograph with a Wi-Fi module based on the STM32H743VIT6 microcontroller is presented. The device is designed for the diagnosis of cardiovascular diseases, including the detection of arrhythmias, ischemic changes and other pathologies and can be used in telemedicine systems for remote patient monitoring.

Keywords: electrocardiograph, ECG, microcontroller, STM32H743VIT6, block diagram, Wi-Fi, Bluetooth

УДК 621.3.087:616.12-07:004.77

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ НЕИНВАЗИВНОГО ИЗМЕРЕНИЯ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ

Степанюк Е. О.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Лушакова М.С. – ст. преподаватель кафедры ЭТТ

Аннотация. Научная и практическая новизна программно-аппаратного комплекса состоит в интеграции измерительного устройства с мобильным приложением, обеспечивающим автоматическое сохранение измеренного значения артериального давления, расчет усредненных показателей за период и визуализацию трендов, что повышает диагностическую ценность мониторинга.

Ключевые слова: микропроцессорная техника, осциллометрический метод, артериальное давление, мобильное приложение, телемедицина.

Введение. В современном мире контроль артериального давления является основой для профилактики и лечения заболеваний, связанных с сердечно-сосудистой системой. Современные требования к медицинскому оборудования диктуют необходимость создания устройств, способных не только к измерению артериального давления, но и к накапливанию и анализу данных, а также интеграции в систему персональной телемедицины. В данной работе предлагается решение, которое будет направлено на устранение разрыва между прецизионным измерением и интеллектуальным анализом данных [1].

Основная часть. При разработке комплекса решались две ключевые задачи: обеспечение помехоустойчивости процесса измерения и создание продуманного пользовательского интерфейса для анализа измеренных параметров.

Структурная схема аппаратной части (рисунок 1) состоит из микроконтроллера ADuC7026 компании Analog Devices, отвечающего за управление исполнительными механизмами (нагнетание давления, регулирование работы клапана) и блока обработки сигнала. Первичный сигнал с датчика давления проходит через аналоговый фильтр нижних частот, благодаря этому происходит подавление высокочастотных помех на начальном этапе. Дальнейшая фильтрация и анализ осуществляются программно.

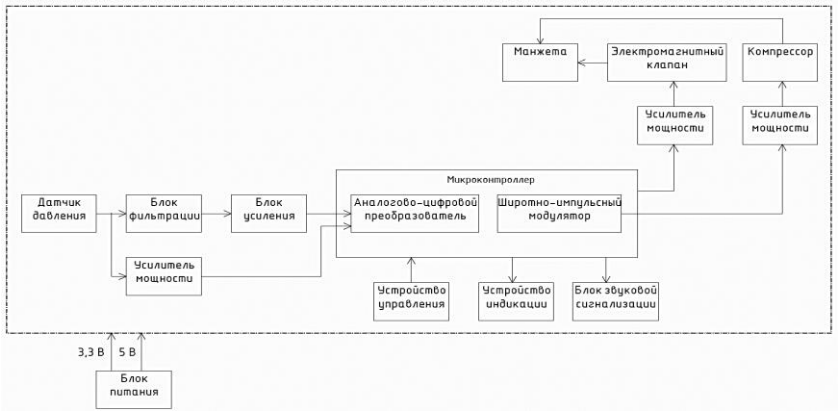


Рисунок 1 – Структурная схема программно-аппаратного комплекса для неинвазивного измерения артериального давления

Основным источником погрешностей при использовании осциллометрического метода являются интенсивные шумы, генерируемые работой компрессора. Эти помехи, наслаиваясь на полезный сигнал, существенно осложняют выделение пульсовых колебаний. В

разработанном устройстве для подавления данных шумов применяется цифровой фильтр на основе конечной импульсной характеристики [2]. Было зафиксировано, что использование фильтра обеспечивает увеличение отношения сигнал-шум в диапазоне 18-20 дБ. Это, в свою очередь, гарантирует устойчивое распознавание осцилляций и точный расчет систолического и диастолического давления.

Существенным дополнением к аппаратной части для данного типа устройств часто является наличие мобильного приложения [3]. В соответствии с этим было разработано собственное приложение, адаптированное к функциям устройства. Передача данных на телефон выполняется по беспроводному протоколу. Разработанное приложение берет на себя функцию накопления измерительной информации, включая показатели систолы, диастолы и частоты пульса, с обязательной фиксацией времени каждого замера. Помимо хранения, программа предоставляет инструменты для анализа: вычисление средних значений за выбранные временные промежутки (от суток до месяца), формирование наглядных графиков для оценки динамики состояния, а также возможность выгрузки накопленных данных во внешние форматы для детального изучения.

Поскольку прибор рассчитан на автономную работу, особое внимание уделялось снижению энергопотребления. В конструкции применены схемотехнические решения, сокращающие расход заряда, а также задействованы режимы пониженного энергопотребления микроконтроллера в перерывах между измерениями.

Заключение. В программно-аппаратном комплексе, ориентированном на контроль артериального давления, удалось объединить достоинства прецизионной измерительной техники с возможностями современных мобильных технологий по обработке и представлению данных. Примененный метод цифровой фильтрации эффективно противодействует электромеханическим помехам в аналогичных устройствах. Встраивание мобильного приложения в экосистему устройства превращает традиционный тонометр в полноценный инструмент персонализированной медицины, расширяя возможности мониторинга и повышая ценность получаемой информации для оценки состояния пациента.

Список литературы

1. *Щапова Л. В. Актуальные проблемы автоматизации амбулаторного контроля артериального давления //Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – №. 4. – С. 265-269.*

2. *Строев, В. М. Проектирование измерительных медицинских приборов с микропроцессорным управлением / В. М. Строев. – Тамбов: ФГБОУ ВПО, 2012. – С. 78–85.*

3. *Татаринова Т.Е., Асекритова А.С., Татаринова О.В. Перспективы использования дистанционного мониторинга артериального давления на уровне первичного звена // Якутский медицинский журнал. – 2025.*

UDC 621.3.087:616.12-07:004.77

HARDWARE AND SOFTWARE SYSTEM FOR NON-INVASIVE BLOOD PRESSURE MEASUREMENT

Stepaniuk E. O.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Lushakova M.S.– Senior Lecturer of the Department of ETT

Annotation. The scientific and practical novelty of the software and hardware complex consists in the integration of a measuring device with a mobile application that provides automatic storage of the measured blood pressure value, calculation of average values over a period and visualization of trends, which increases the diagnostic value of monitoring.

Keywords: microprocessor technology, oscillometric method, blood pressure, mobile application, telemedicine.

УДК 621.78

ТЕХНОЛОГИЯ МОДИФИКАЦИИ ДЕТАЛЕЙ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ НА 3Д ПРИНТЕРЕ

Юшко Д.Е.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Шахлевич Г.М. – к. ф.-м., доцент, доцент кафедры ЭТТ

Аннотация. В статье рассматривается технология модификации деталей, изготовленных методом послойного наплавления (FDM) на 3D-принтерах, с целью снижения анизотропии механических свойств и повышения общей прочности. Предлагаемый подход включает термическую обработку (отжиг) в контролируемой среде для улучшения межслойной адгезии и кристаллизации полимера. Эксперименты на образцах из полиэтилентерефталата гликоль-модифицированного (PETG) демонстрируют значительное увеличение предела прочности при растяжении – до трехкратного роста по сравнению с необработанными деталями. Метод позволяет использовать доступные открытые 3D-принтеры без термокамеры, минимизируя затраты на оборудование.

Ключевые слова. 3D-печать, FDM-технология, анизотропия, отжиг, полиэтилентерефталат гликоль-модифицированный (PETG), межслойная адгезия, механические свойства, термопласты.

Введение. В последние годы в Беларуси, как и в других странах, наблюдается значительное распространение 3D-принтеров в научных лабораториях, образовательных учреждениях и на производстве. Эти устройства применяются для быстрого прототипирования, изготовления оснастки и даже функциональных деталей. Наиболее доступной и экономичной технологией 3D-печати остается метод послойного наплавления (Fused Deposition Modeling, FDM), где термопластичный филамент экструдируется через нагретое сопло и наносится слой за слоем на платформу. Самые распространенные принтеры – открытые (без термокамеры), такие как модели на базе Prusa i3 или Ender 3 (рисунок 1), которые стоят от нескольких сотен долларов и просты в эксплуатации.



Рисунок 1 – Открытый 3Д принтер

Однако, использование технологии послойного наплавления для создания функциональных изделий сдерживается ключевым недостатком — анизотропией свойств и низкой прочностью. Анизотропия в FDM-печати обусловлена слоистой структурой материала [1]. Каждый слой формируется из отдельных нитей, между которыми возникают воздушные зазоры и слабые межслойные связи из-за неполной диффузии полимерных цепей. Это приводит к тому, что прочность вдоль слоев (в плоскости XY) значительно выше, чем в направлении Z (между слоями). Факторами, усугубляющими анизотропию, являются ориентация растра и неравномерность охлаждения. Кроме того, качество печати сильно зависит от внешних условий: влажности и температуры окружающего воздуха. Гигроскопичные полимеры, такие как PLA, поглощают влагу, что снижает адгезию слоев и

вызывает внутренние напряжения, приводящие к деформациям или растрескиванию (рисунок 2).

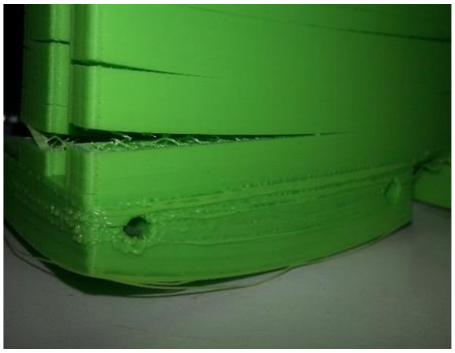


Рисунок 2 – Расслоение вдоль слоев

Открытые принтеры, не имеющие защитного корпуса, особенно уязвимы к этим факторам: сквозняки и колебания температуры вызывают коробление деталей, особенно при печати материалов с высокой усадкой. Закрытые принтеры с термокамерой (например, модели Ultimaker или Raise3D) решают эту проблему, поддерживая стабильную температуру в камере (до 100–120°C), что улучшает адгезию и снижает напряжения. Однако такие устройства стоят в 2–5 раз дороже и требуют более сложного обслуживания (рисунок 3).



Рисунок 3 – 3Д принтер с термокамерой

Альтернативные технологии 3D-печати, такие как стереолитография (SLA) на основе фотополимеров, обеспечивают изотропные свойства благодаря равномерному отверждению под УФ-излучением (рисунок 4). В SLA полимерная смола (обычно акрилатные или эпоксидные соединения) полимеризуется слой за слоем, образуя монолитную структуру без выраженных границ. Однако оборудование для SLA (например, принтеры Formlabs) и расходные материалы стоят в 5–10 раз дороже FDM, а постобработка включает промывку в растворителях и дополнительное отверждение.

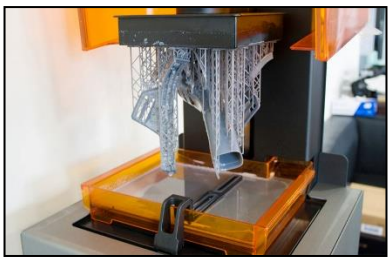


Рисунок 4 – SLA принтер

Существуют также инженерные филаменты для FDM печати, такие как ABS (акрилонитрил-бутадиен-стирол), нейлон (полиамид) или поликарбонат (PC), обеспечивающие лучшую адгезию и механические свойства. Однако они имеют значительную усадку – до 1–2% для ABS и 1,5–3% для нейлона что обязывает использовать принтеры с термокамерой для предотвращения деформаций и отлипания от платформы. Стоимость таких филаментов в 1,5–3 раза выше базовых, а печать требует оптимизации параметров, включая температуру сопла (220–260°C) и платформы (80–110°C).

Основная часть. Для повышения однородности свойств предлагается использовать термическую обработку – отжиг. Этот процесс включает нагрев детали до температуры ниже точки плавления, но выше температуры стеклования, что способствует диффузии полимерных цепей, релаксации внутренних напряжений и увеличению степени кристалличности в полукристаллических полимерах [2]. В результате слои лучше спекаются друг с другом, площадь контакта между ними возрастает, а анизотропия снижается. Для поддержания формы модели во время отжига, когда полимер размягчается, деталь окружают термостойким мелкодисперсным порошком (например, поваренной солью с зернистостью 0,1–0,5 мм) или гипсом, который предотвращает деформацию под действием гравитации. Степень шероховатости поверхности после отжига определяется зернистостью порошка: более мелкий дает гладкую финишную отделку. Кроме того, отжигаемая деталь должна быть напечатана с 100% заполнением, чтобы обеспечить монолитность структуры. Это позволяет получать прочные изделия из дешевых термопластов, таких как PLA или PETG, даже на открытых FDM-принтерах без термокамеры.

Были проведены испытания образцов на разрывной машине. Для испытания использовались стандартные образцы по ГОСТ 33693-2015, напечатанные с ориентацией слоев перпендикулярно оси растяжения. Сначала испытан необработанный образец из PETG: его диаграмма растяжения показывает максимальное усилие около 180 Н при удлинении 0,05 см, с хрупким разрушением из-за слабой межслойной адгезии (рисунок 5).

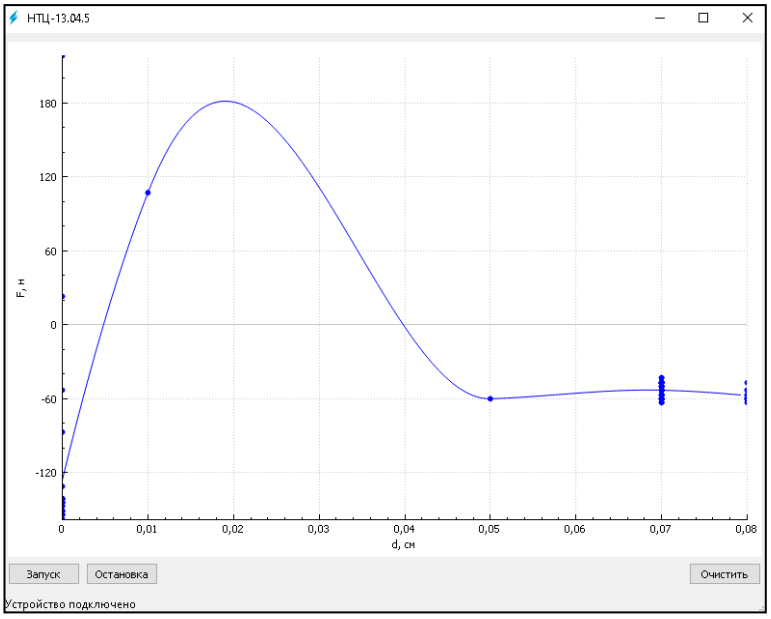


Рисунок 5 – Диаграмма растяжения необработанного образца

Затем проведены испытания образца, прошедшего отжиг при температуре 180°C в течение 25 минут в порошковой среде. Диаграмма показывает значительное улучшение: максимальное усилие превысило 600 Н при удлинении 0,13 см (рисунок 6).

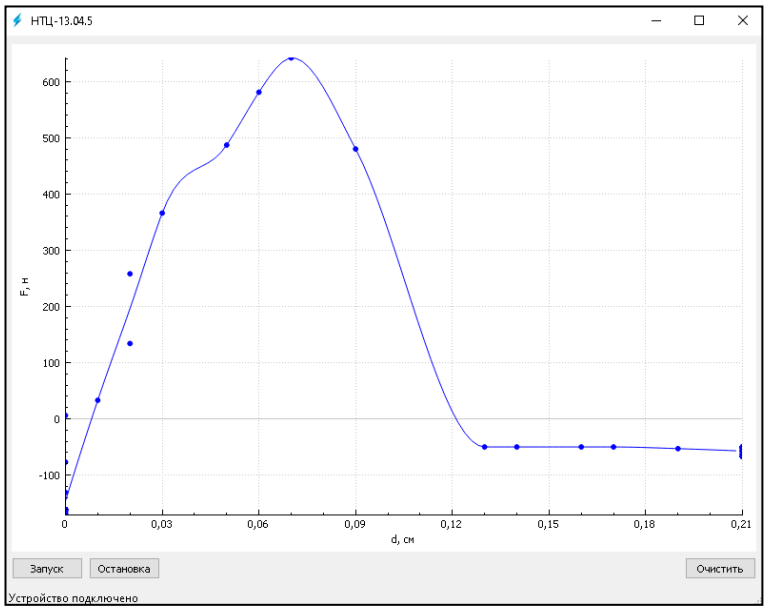


Рисунок 6 – Диаграмма растяжения модифицированного образца

Результаты объясняются тем, что площадь контакта между слоями значительно увеличилась [3]. Это можно заметить, анализируя поперечные разрезы образцов представленные на фото ниже (рисунок 6,7).

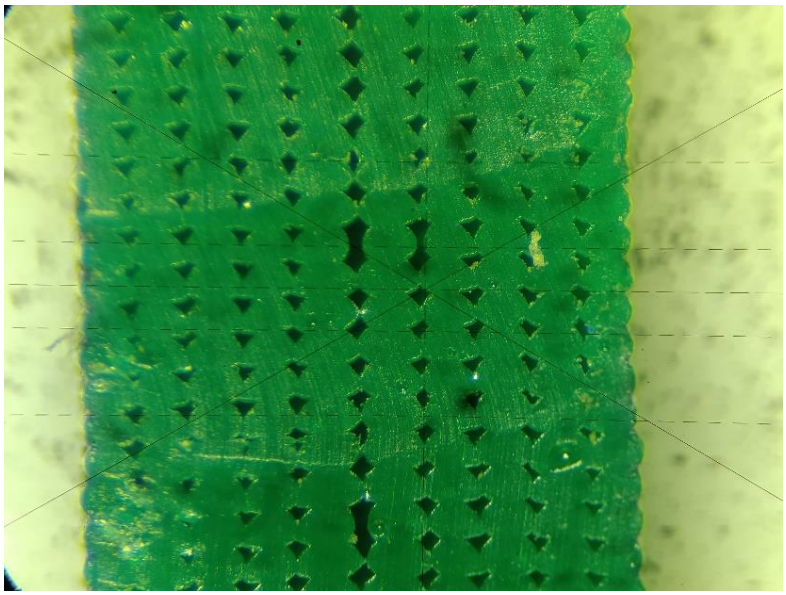


Рисунок 7 – большое количество полостей в необработанном образце

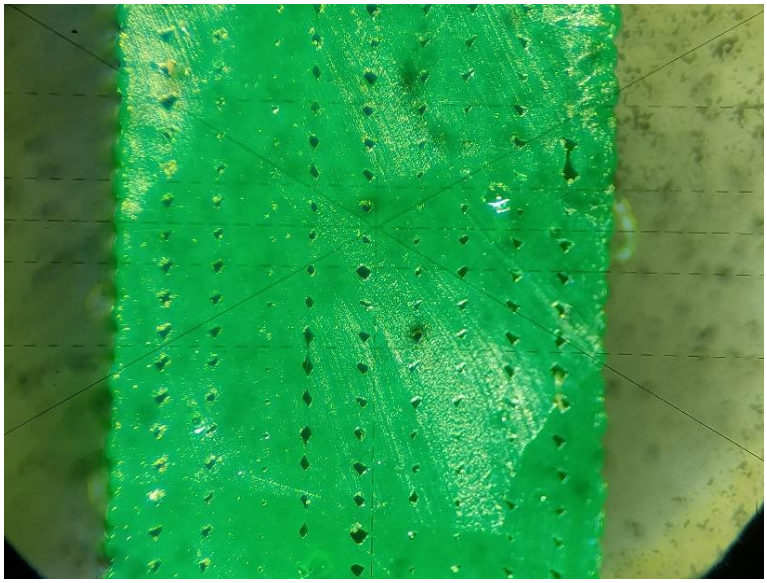


Рисунок 8 – полости стали значительно меньше

Заключение. Экономическое и техническое преимущество предлагаемой технологии заключается в минимизации затрат: для изготовления пластиковых деталей требуется лишь доступный 3D-принтер (открытый FDM-тип), способный печатать детали практически любой геометрии, и простые устройства для отжига – печь с контролем температуры, пресс для уплотнения порошка или вибрационный стол для равномерного распределения жидкого гипса. В отличие от литья под давлением, где необходимы проектирование и изготовление форм на фрезерных станках с ЧПУ, а также термопластавтоматы для впрыска под высоким давлением (до 100–200 МПа), данный метод значительно снижает стоимость изготовления.

Список литературы

1. Levenhagen, N. P. Bimodal molecular weight samples improve the isotropy of 3D printed polymeric samples / N. P. Levenhagen, M. D. Dadmun // Polymer. – 2017. – Vol. 122. – P. 232-241.

2. Garcia, R. A. Enhancing Mechanical Properties of Polymer 3D Printed Parts / R. A. Garcia, R. E. Steirer, J. L. Sanchez [et al.] // Polymers. – 2021. – Vol. 13, № 4. – Article 562. – DOI: 10.3390/polym13040562.

3. Dawoud, M. Mechanical behaviour of ABS: An experimental study using FDM and injection moulding techniques / M. Dawoud, I. Taha, S. J. Ebeid // Journal of Manufacturing Processes. – 2016. – Vol. 21. – P. 39-45.

UDC 621.78

TECHNOLOGY FOR MODIFICATION OF PARTS MANUFACTURED ON A 3D PRINTER

D. Yushko

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

G. Shakhlevich — Associate Professor, PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor of the Department ETT

Annotation. The article discusses a technology for modifying parts manufactured by Fused Deposition Modeling (FDM) on 3D printers to reduce the anisotropy of mechanical properties and increase overall strength. The proposed approach includes heat treatment (annealing) in a controlled medium to improve interlayer adhesion and polymer crystallization. Experiments on samples made of glycol-modified polyethylene terephthalate (PETG) demonstrate a significant increase in tensile strength – up to a threefold increase compared to untreated parts. The method allows the use of affordable open-frame 3D printers without a heated chamber, minimizing equipment costs.

Keywords. D printing, FDM technology, anisotropy, annealing, glycol-modified polyethylene terephthalate (PETG), interlayer adhesion, mechanical properties, thermoplastics.

УДК 621.382.049.77:621.791.16

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОНТАКТНОЙ МИКРОСВАРКИ ПРИ МОНТАЖЕ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Рахлин М.Е.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Ланин В.Л. – д-р техн. наук., профессор кафедры ЭТТ

Аннотация. Экспериментально исследовано влияние параметров контактной микросварки на качество сварного соединения. Установлено, что увеличение напряжения и длительности импульса повышает прочность, но ведет к прожогам. Предложена методика выбора оптимальных режимов сварки, минимизирующих дефекты.

Ключевые слова: микросварка, контактная сварка, метод расщепленного электрода

Введение. Непрерывная миниатюризация электронных компонентов и повышение плотности монтажа современных радиоэлектронных средств предъявляют все более жесткие требования к технологиям соединения материалов. Соединения в микросборках, гибридных интегральных схемах и микроэлектромеханических системах (МЭМС) должны обладать высокой надежностью, стабильным электрическим сопротивлением и минимальным тепловым воздействием на чувствительные элементы, что делает традиционные методы пайки неприемлемыми. В этой связи контактная микросварка, как один из основных методов получения неразъемных соединений, играет ключевую роль в обеспечении качества и долговечности микроэлектронной аппаратуры.

В работе проведено исследование основных технологических параметров контактной микросварки: напряжения на электроде и времени на прочность сварных соединений.

Основная часть. При производстве микроэлектронных устройств технология соединения компонентов должна соответствовать ряду жестких требований, обусловленных миниатюрностью элементов и чувствительностью структур к внешним воздействиям. К числу основных критериев, предъявляемых к процессам монтажа микросхем, относятся: обеспечение прочности контакта, сопоставимой с прочностью самих соединяемых элементов; минимизация переходного омического сопротивления в зоне соединения; использование щадящих режимов (минимально возможные температура, давление и время воздействия) для исключения повреждения полупроводниковых структур; технологическая гибкость – возможность соединения различных материалов и геометрических размеров; коррозионная безопасность (отсутствие остаточных материалов, способных инициировать коррозию);

В основе процесса контактной сварки лежит принцип подачи регулируемого по амплитуде и длительности переменного напряжения прямоугольной формы на сварочные электроды, которые контактируют с привариваемым проводником. Протекающий ток через цепь: электрод-проводник-подложка-электрод вызывает локальный разогрев контактирующих поверхностей, чем обеспечивается присоединение свариваемых материалов.

Напряжение на электродах для выбранного режима поддерживается во время сварки постоянным ввиду низкого выходного сопротивления блока контактной сварки. Сварочный ток зависит от переходного сопротивления электрод-проволока, проволока-контактная площадка. В процессе эксплуатации сопротивление рабочих поверхностей электродов вырастает за счет постепенного окисления. Это приводит к уменьшению сварочного тока и соответственно к уменьшению энергии, выделяемой в зоне сварки.

Экспериментальная часть. Проведены исследования процессов микросварки методом расщепленного электрода с целью определения оптимальных режимов сварки. отрезков никелевых лент на макетном устройстве, состоящем из сварочной системы установки для контактной сварки НТ-1020 и адгезиометра (рисунок 1).



Рисунок 1 – Установка контактной микросварки НТ-1020

Предварительно очищенные никелевые ленты закреплялась на предметном столике. Края лент прижимались друг к другу расщепленным электродом ЭК-1 и производилась сварка. После окончания сварки определялась механическая прочность сварного соединения. Получено три оптимальных режима сварки, которые приведены в таблице 1

Таблица 1 - Режимы сварки и их характеристики

№ режима	Длительность импульса, с	Напряжение, В	Ширина ленты, мм	Длина, см
1	0,2-0,28	105-125	0,8	2
2	0,32-0,36	120-135	0,9	2
3	0,4	135-150	1,2-1,3	2

Механическая прочность сварного соединения определялась до разрушения сварного соединения при помощи адгезиометра. Исследование зависимости прочности соединения от напряжения проводилось при получении соединений отрезков никелевой ленты друг с другом. Полученные экспериментальные зависимости показаны в таблице 2 и на рисунке 2.

Таблица 2 - Зависимость прочности сварных соединений при различных режимах сварки

№ режима	U, В	F, кгс
1 режим	105	0,8
	110	0,85
	120	0,9
	125	1,0
2 режим	120	1,5
	125	1,8
	130	2,0
	135	2,1
3 режим	135	2,0
	140	2,0
	145	2,15
	150	2,2

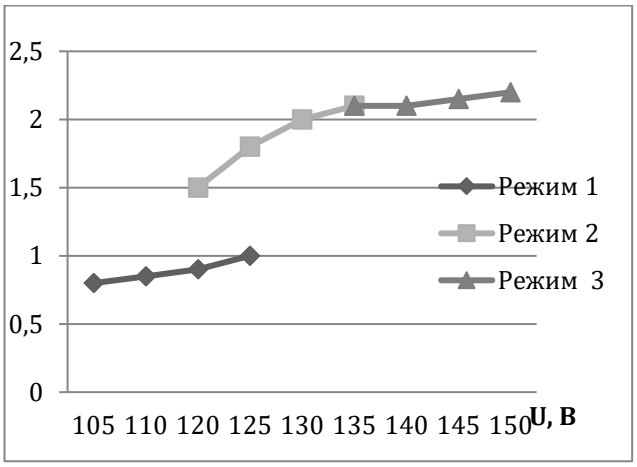


Рисунок 2 – Зависимость прочности соединения от напряжения сварки

Полученные экспериментальные зависимости показывают, что с увеличением напряжения и времени импульса механическая прочность возрастает, но вместе с этим возрастает и частота прожогов материала, что приводит к ухудшению производительности процесса и перерасходу материала.

Заключение. В ходе экспериментального исследования были выявлены основные дефекты сварки и причины их возникновения: прожоги сварного соединения по причинам больших усилий прижима, времени сварки, сварочного тока и износа рабочей части инструмента. Низкая прочность соединений наблюдалась при неправильном подборе материала электродов, низком усилии прижима, малых сварочном токе или времени сварки и при загрязнении рабочей части инструмента.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы относительно области применения контактной микросварки методом расщепленного электрода: для присоединения проволок в диапазоне диаметров (50 – 100) мкм, лент сечением (50–100) мкм х 200 мкм одноточечным присоединением электродом типа ЭК 2; внешних выводов корпусов при монтаже микроэлектронных устройств на платы и подложки.

Список литературы

1. *Шмаков, М. Микросварка при производстве микросборок и гибридных интегральных микросхем / М. Шмаков // Технологии в электронной промышленности – 2006. №5.– С. 64-68.*

2. *Емельянов, В.Е. Технология электрических соединений в производстве электронной аппаратуры / В.Е. Емельянов, В.Л. Ланин, А.А. Хмыль. – Минск: Бестпринт, 1997. -113с.*

3. *Онегин, Е.Е.. Автоматическая сборка ИС / Е.Е. Онегин, В.В. Зенькович, Л.Г. Битно .– Минск: Выш. школа, 1990. – 383 с.*

UDC 621.382.049.77:621.791.16

STUDY OF THE PROCESS OF CONTACT MICROWELDING IN THE ASSEMBLY OF MICROELECTRONIC DEVICES

Rakhlin M. Ye.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Lanin V.L. – Dr. of .Sci., professor of the department of EET

Annotation. The influence of resistance microwelding parameters on the quality of welded joints was experimentally studied. It was found that increasing voltage and pulse duration improves strength but leads to burn-through. A method for selecting optimal welding modes that minimize defects is proposed.

Keywords: microwelding, contact welding, split-electrode method

УДК 612.741.16:616.742.71:615.847.8

АНАЛИЗ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ЖЕВАТЕЛЬНЫХ МЫШЦ ПОСЛЕ ПРОВЕДЕНИЯ СТИМУЛЯЦИИ ИМПУЛЬСНЫМИ МАГНИТНЫМИ ПОЛЯМИ

Круглик Е. В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Самуйлов И.В. – ст. преподаватель кафедры ЭТТ

Аннотация. В работе исследуется влияние однократного сеанса импульсной магнитной стимуляции на биоэлектрическую активность жевательных и височных мышц. Проведен анализ электромиограмм (ЭМГ), зарегистрированных до и после воздействия импульсного магнитного поля (ИМП). Выявлено увеличение корреляции сигналов с парных мышц, что свидетельствует о нормализации нейромоторного контроля. Описана методика регистрации и обработки данных с использованием электронейромиографа «Мицар-ЭЭГ-10/70-201».

Ключевые слова: жевательные мышцы, височная мышца, электромиография, импульсная магнитная стимуляция, биоэлектрическая активность, нейромоторный контроль

Введение. Исследование биоэлектрической активности жевательных мышц представляет собой важное направление в нейрофизиологии и медицине, поскольку состояние этих мышц отражает не только локальную двигательную функцию, но и общее взаимодействие между нервной и мышечной системами. Биоэлектрическая активность этих мышц, отражающая процессы генерации и распространения потенциалов действия, может быть объективно оценена с помощью метода поверхностной электромиографии (ЭМГ) [1]. Данный метод является важным диагностическим инструментом, позволяющим выявлять характерные изменения амплитудных и частотных параметров ЭМГ-сигналов при различных патологиях. Актуальность настоящего исследования обусловлена необходимостью разработки новых методов функциональной диагностики и терапии нарушений жевательных функций, основанных на воздействии физическими факторами [2].

Основная часть. Целью работы является анализ изменений биоэлектрической активности жевательных и височных мышц до и после воздействия импульсного магнитного поля. Для достижения цели были поставлены следующие задачи: реализовать методику регистрации и обработки ЭМГ-сигналов, проанализировать полученные данные на предмет выявления закономерностей в изменении мышечной активности под воздействием магнитной стимуляции.

Для получения ЭМГ-сигналов использовался электроэнцефалограф «Мицар-ЭЭГ-10/70-201», который применялся в режиме регистрации миографических сигналов. Методика съёма данных включала несколько этапов. Первоначально производилась настройка электроэнцефалографа: фильтр верхней частоты выставлялся равным 0,16 Гц; фильтр нижней частоты – 30 Гц; режекторный фильтр «50 Гц»; чувствительность 15 мкВ/см; скорость развертки 60 мм/с.

Система настраивалась таким образом, чтобы расположить по 2 электрода на жевательной и 2 электрода на височной мышцах с каждой стороны головы. Поверхностные электроды устанавливались на область височной впадины на мышцу Temporalis и на мышцу Masseter. Для лучшей передачи данных на электроды перед установкой наносился медицинский гель. После установки электродов контролировался уровень импеданса, который не должен был превышать 10 кОм. При необходимости производилась переустановка электродов для достижения качественного контакта.

Протокол регистрации включал запись ЭМГ в состоянии покоя с открытыми глазами, в состоянии покоя с закрытыми глазами, а также при функциональной пробе (сжимание и разжимание челюсти). После проведения регистрации производилась стимуляция импульсным магнитным полем. Для этого подготавливался аппарат транскраниальной магнитной стимуляции с кольцевым индуктором. Длительность процедуры составляла 1 минуту, частота импульсов 12 Гц, скважность между импульсами – 0 секунд. Мощность сигнала выставлялась индивидуально для пациента (в диапазоне 11-14%). Стимуляция

проводилась последовательно с правой, затем с левой стороны лица. Сразу после завершения стимуляции производилось повторное подключение электродов и регистрация ЭМГ по той же методике.

Математическая обработка данных выполнялась в среде MATLAB. Анализировались два ключевых параметра: коэффициент корреляции Пирсона между сигналами с парных жевательных мышц (показатель синхронности работы), а также изменения спектра мощности сигнала.

В ходе анализа полученных данных были выявлены следующие закономерности. До стимуляции левая и правая жевательные мышцы работали более независимо. После проведения стимуляции импульсными магнитными полями был зафиксирован рост корреляции их электрической активности на 0,00625. Данный показатель указывает на слабую тенденцию к увеличению синхронности работы мышечных групп.

Анализ спектра мощности ЭМГ-сигнала показал, что изменения оказались незначительными. На некоторых участках частотного спектра наблюдались локальные сдвиги мощности, не превышающие 4 дБ/Гц. Это означает, что общая энергетика сигнала осталась стабильной, то есть не произошло резкого усиления или ослабления общей мышечной активности. Сдвиги на 4 дБ/Гц в отдельных частотных диапазонах указывают на возможную перенастройку узких частей мышечной активации, но не о полном изменение режима работы мышцы.

Также значимым результатом проведенного исследования является увеличение межсторонней кросс-корреляции электромиографических сигналов после воздействия импульсным магнитным полем. Кросскорреляционный анализ позволяет оценить степень сходства и синхронности двух сигналов. Применительно к жевательной мускулатуре, показатель кросс-корреляции между сигналами, зарегистрированными с правой и левой жевательных мышц, отражает степень скоординированности их работы в процессе выполнения функции.

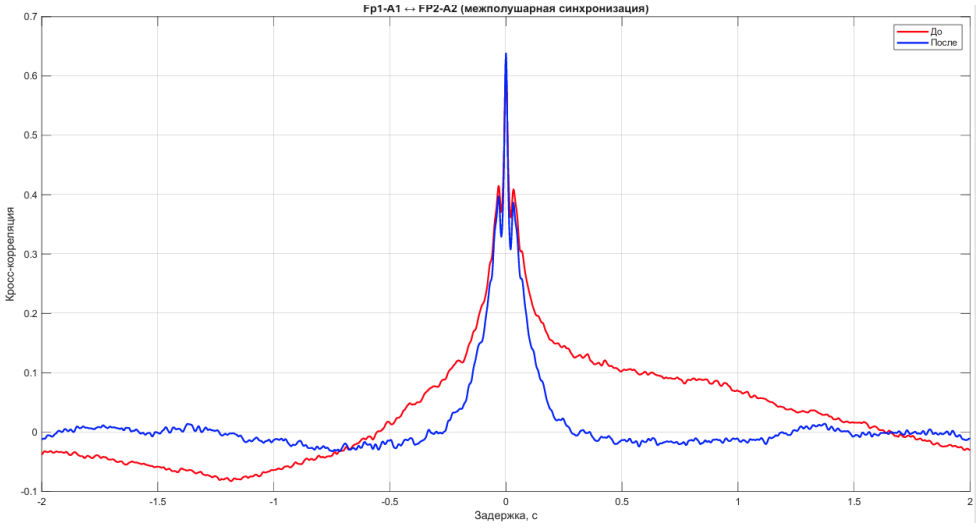


Рисунок 1 – Межсторонняя кросс-корреляция.

Таким образом, эффект стимуляции проявился в большей степени в синхронизации, чем в усилении активации, а также носит более индивидуальный характер. Основной результат заключается в улучшении координации между мышцами. Незначительные изменения в спектре мощности при росте корреляции свидетельствуют о том, что стимуляция в первую очередь повлияла на координационный, а не на энергетический аспект работы жевательной мускулатуры. Это может говорить о нормализации нейромоторного контроля без существенного изменения общего мышечного тонуса.

Практическая значимость результатов:

1 Подтверждают эффективность однократного воздействия ИМП (аппарат «Нейро МС-Д» с параметрами 12 Гц, 60 сек, индивидуальной мощности (11-14%)) для быстрой модуляции функционального состояния жевательных мышц.

2 Предлагают объективные нейрофизиологические маркеры для оценки немедленного эффекта стимуляции – рост межканальной корреляции ЭМГ.

3 Обосновывают перспективность применения методики в комплексной реабилитации пациентов с дисфункцией ВНЧС, миофасциальным болевым синдромом, последствиями неврологических нарушений, а также для мониторинга эффективности лечения.

Заключение. В рамках проведенного исследования был выполнен анализ влияния однократного сеанса импульсной магнитной стимуляции на биоэлектрическую активность жевательной и височной мускулатуры. Регистрация поверхностной электромиографии до и после воздействия позволила выявить характерные изменения.

Подтверждено нормализующее влияние ИМП на координацию мышц. Ключевым результатом является увеличение коэффициента корреляции Пирсона между сигналами с парных жевательных мышц после стимуляции. Это прямо указывает на повышение синхронности и скоординированности их работы. Данный эффект согласуется с теоретическими положениями о действии ИМП на нейромоторный контроль и соответствует клинической цели – восстановлению баланса и кооперации в работе мышечного аппарата.

Выявлена избирательность эффекта стимуляции. Незначительные изменения в спектре мощности ЭМГ-сигнала при выраженном росте межмышечной корреляции позволяют сделать вывод о преимущественном влиянии ИМП на координационный аспект мышечной функции. Стимуляция привела к оптимизации паттерна нейромоторной активации без существенного изменения общего уровня мышечного тонуса.

Практическая значимость результатов заключается в подтверждении эффективности однократного воздействия ИМП для быстрой модуляции функционального состояния жевательных мышц. Обоснована перспективность применения методики в комплексной реабилитации пациентов с дисфункцией ВНЧС, последствиями неврологических нарушений, а также для мониторинга эффективности лечения.

Список литературы

1. *Зименко, К.А. Анализ и обработка сигналов электромиограммы / К.А. Зименко, Л.С. Боргуль, Л.Л. Маргун // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2013. – № 1(83). – С. 41-43.*

2. *Niedermeyer, E. Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields / E. Niedermeyer, F.L. da Silva. – 6th ed. – Lippincott Williams & Wilkins, 2011. – 864 c.*

3. *Rossini, P.M. Non-invasive electrical and magnetic stimulation of the brain, spinal cord, roots and peripheral nerves: Basic principles and procedures for routine clinical and research application. An updated report from an I.F.C.N. Committee / P.M. Rossini, D. Burke, R. Chen et al. // Clinical Neurophysiology. – 2015. – № 6. – C. 1071–1107.*

4. *Beaulieu, C. Effects of repetitive peripheral magnetic stimulation on normal or impaired motor control. A review / C. Beaulieu, C. Schneider // Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology. – 2013. – № 4. – C. 251–260.*

UDC 612.741.16:616.742.71:615.847.8

ANALYSIS OF BIOELECTRIC ACTIVITY OF MASTICATORY MUSCLES AFTER STIMULATION BY PULSED MAGNETIC FIELDS

Kruglik E. V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Samuilov I.V. – Senior Lecturer at the Department of ETT

Annotation. The paper examines the effect of a single session of pulsed magnetic stimulation on the bioelectric activity of the masticatory and temporal muscles. The analysis of electromyograms (EMG) recorded before and after exposure to a pulsed magnetic field (IMF) is carried out. An increase in the correlation of signals from paired muscles was revealed, which indicates the normalization of neuromotor control. A method for recording and processing data using the Micar-EEG-10/70-201 electroneuromyograph is described.

Keywords: masticatory muscles, temporal muscle, electromyography, pulsed magnetic stimulation, bioelectric activity, neuromotor control

УДК 621.3.049.77–048.24:537.2

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКА ВОЗДУХА

Даревский Т.Д.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Самуйлов И.В. – ст. преподаватель кафедры ЭТТ

Аннотация. Исследован ультразвуковой метод измерения потока воздуха в медицинских спирометрах на основе принципа времени пролёта (transit-time) с V-образной конфигурацией датчиков. На основании анализа литературных источников показано, что метод обеспечивает высокую точность (±2%), воспроизводимость, отсутствие калибровки и гигиеничность (на примерах TrueFlow™ и SharpFlow)

Ключевые слова: ультразвуковая спирометрия, время пролёта, transit-time, спирометрия, поток воздуха, функция внешнего дыхания

Введение. Измерение респираторного потока – критическая задача в пульмонологии, реаниматологии, анестезиологии и функциональной диагностике дыхания. Среди методов мониторинга всё популярнее становится ультразвуковой бесконтактный способ.

Ультразвуковой спирометрией называют определение скорости и объема дыхания по изменению времени прохождения импульсов вдоль и против потока (transit-time) или по доплеровскому сдвигу от микрочастиц. В большинстве медицинских спирометров применяется времяпролетный принцип: пара датчиков под углом к дыхательному каналу поочередно излучает и принимает сигналы. Разность времени прохождения пропорциональна скорости воздушной струи, по которой рассчитываются ключевые показатели функции внешнего дыхания.[1]

Цель работы – проанализировать преимущества и ограничения ультразвукового метода времени пролёта с диагональной конфигурацией датчиков на примере современных медицинских спирометров.

Основная часть. Принцип определения потока воздуха с помощью ультразвукового датчика. В основе ультразвуковых датчиков расхода газа лежит использование звуковых волн для измерения скорости газа. Основной метод основан на принципе времени прохождения сигнала, при котором ультразвуковые преобразователи (датчики) излучают импульсы, распространяющиеся в потоке газа. Два преобразователя располагаются таким образом, что один посылает сигналы вниз по потоку (по направлению потока), а другой – вверх по потоку (против направления потока). Разница во времени (Δt) между этими путями пропорциональна скорости газа (V) и рассчитывается по следующей формуле:

$$V = \frac{L \cdot \Delta t}{2 \cdot t_0}, \quad (1)$$

где L – длина пути, а t_0 – среднее время прохождения. Затем объемный расход рассчитывается путем умножения на площадь поперечного сечения трубы. [2]

Другой вариант – эффект Доплера , при котором волны отражаются от пузырьков или частиц в газе, а сдвиг частоты указывает на скорость – идеальную для газов, содержащих примеси. В усовершенствованных моделях для прямой передачи используются сдвиговые волны или волны Лэмба, которые вызывают резонанс стенки трубы для усиления сигналов в газах низкого давления или затухающих газах. Многоканальные конфигурации (например, 4 или 6 путей) усредняют измерения по всей трубе для обработки турбулентных или асимметричных потоков, повышая точность. На этой диаграмме показана схема измерения времени прохождения , демонстрирующая, как сигналы до и после трубы различаются в зависимости от потока.

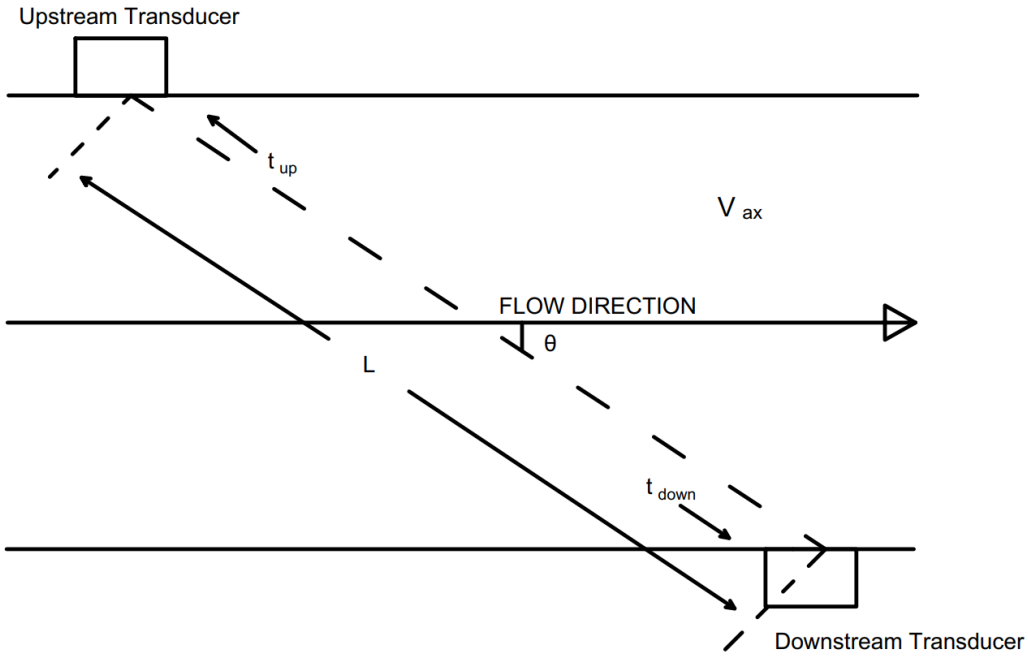


Рисунок 1 – Схема принципа работы ультразвукового датчика

В медицинских спирометрах, чаще применяется V-образная конфигурация (V-mount), где оба ультразвуковых преобразователя расположены на одной стороне канала, а сигнал отражается от противоположной стенки. Это обеспечивает компактность конструкции и лучшее усреднение профиля потока. Такая схема (V-traverse) позволяет использовать более короткий и удобный для размещения путь ультразвукового луча, что особенно важно в портативных и клинических приборах с небольшим диаметром дыхательного пути. Кроме того, отражение от стенки помогает компенсировать неравномерность скоростного профиля потока воздуха (ламинарный/турбулентный режим), повышая точность измерения объёмной скорости и интегральных показателей (например, $ОФВ_1$ и ЖЕЛ) даже при неидеальной геометрии потока.[3]

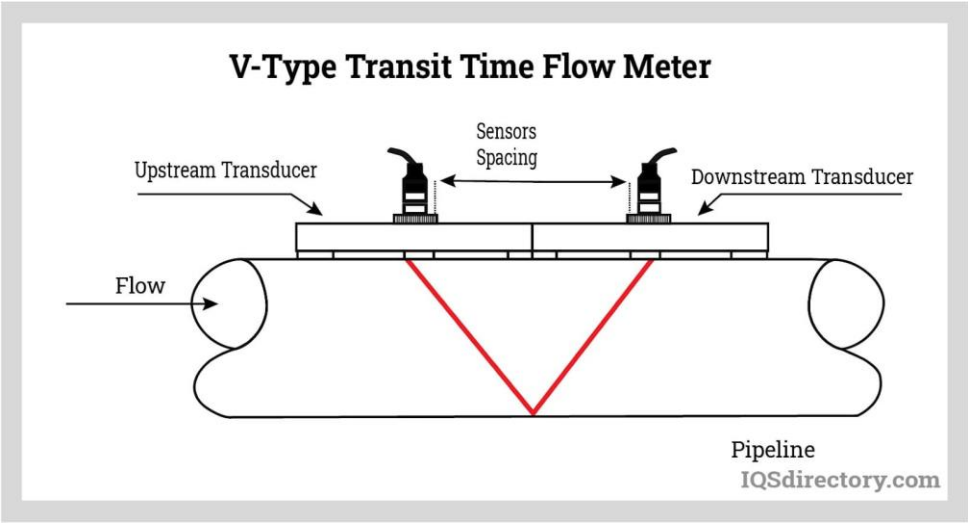


Рисунок 2 – Схема ультразвукового расходомера времени пролёта V-типа.[3]

Существуют специализированные ультразвуковые датчики, разработанные для медицинской спирометрии.

TrueFlow™ (ndd Medical Technologies) – ультразвуковой датчик на основе времени пролёта (transit-time), с открытым каналом без сопротивления и механических частей. Обеспечивает точность потока ±2% или ±0.020 л/с (в зависимости от модели), объёма ±2% или ±0.050 л, диапазон ±16 л/с, не требует калибровки в течение всего срока службы, устойчив к влиянию температуры, влажности и состава газа.[4]

SharpFlow (GANSHORN / Schiller) – высокоточный ультразвуковой датчик с прямым цифровым измерением времени прохождения импульсов. Характеризуется точностью потока ±2% или ±0.1 л/с, объёма ±2% или ±0.05 л, диапазон ±16 л/с, полная гигиеничность (открытый канал), отсутствие необходимости в калибровке и высокая воспроизводимость результатов даже при турбулентных потоках.[5]

Заключение. Выполнен анализ ультразвукового метода определения потока воздуха, применяемого в современных медицинских спирометрических системах преимущественно на основе принципа времени пролёта с V-образной конфигурацией датчиков.

Установлено, что данный метод обеспечивает высокую точность (±2% или ±0,020–0,1 л/с по потоку и ±2% или ±0,05 л по объёму), отличную воспроизводимость результатов, отсутствие необходимости в калибровке в течение всего срока службы, а также устойчивость к вариациям температуры, влажности и состава газовой смеси. Благодаря открытому измерительному каналу без движущихся частей и сопротивления потоку достигается полная гигиеничность и комфорт пациента. Эти характеристики особенно ярко проявляются в системах TrueFlow™ (ndd Medical Technologies) и SharpFlow (GANSHORN / Schiller), что делает ультразвуковую спирометрию одним из наиболее надёжных и перспективных методов функциональной диагностики внешнего дыхания.

Вместе с тем определено, что турбулентные режимы потока (при высоких скоростях или асимметричном профиле) и загрязнение канала (конденсат, аэрозоли, микрочастицы) приводят к искажению временных параметров сигнала, нарушению усреднения профиля скорости и, как следствие, к снижению достоверности ключевых показателей функции внешнего дыхания.

Список литературы

1. *Принцип работы ультразвукового расходомера. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://meterflow.ru*

2. *Ультразвуковой датчик расхода газа: принцип работы, конструкция и области применения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.flowtmeter.com*

3. *Ультразвуковые расходомеры: типы и области применения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.iqsdirectory.com*

4. *Технология TrueFlow – как она работает [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://nddmed.com.*

5. *Технология SharpFlow [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ganshorn-medical.com.*

UDC 621.3.049.77–048.24:537.2

ULTRASONIC METHOD FOR DETERMINING AIR FLOW

Darevsky T.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Samoilov I.V.. – Senior Lecturer of the Department of Electronic Technology

Annotation. An ultrasonic method for measuring airflow in medical spirometers based on the transit-time principle with a V-shaped sensor configuration was investigated. A literature review demonstrated that the method provides high accuracy (±2%), reproducibility, lack of calibration, and hygiene (using TrueFlow™ and SharpFlow as examples).

Key words: ultrasound flowmetry, time of flight, transit-time, spirometry, air flow, respiratory function

УДК 616.831.9-073.97

МЕТОДИКА ВРЕМЕННОГО АНАЛИЗА ЭМГ ДЛЯ ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ НА ПРИМЕРЕ ЖЕВАТЕЛЬНОЙ МЫШЦЫ

Швед И.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Самуйлов И.В. – ст. преподаватель кафедры ЭТТ

Аннотация. В статье представлена разработка программного модуля для временного анализа электромиографических (ЭМГ) сигналов в среде *Python*. Созданный программный инструмент позволяет автоматизировать процессы обработки, визуализации и анализа ЭМГ-сигналов, полученных от жевательной и височной мышцы при стандартизированном тесте на сжатие зубов. В работе рассмотрены особенности анатомии исследуемых мышц, методы электромиографии, основные подходы к анализу сигналов во временной области.

Ключевые слова: электромиография, *Python*, временной анализ, жевательная мышца.

Введение. Электромиография (ЭМГ) – наиболее объективный и надежный метод визуализации функций и эффективности работы мышц, основанный на регистрации их электрических потенциалов. При глобальной поверхностной электромиографии (*sEMG*) поверхностные электроды располагаются на поверхности кожи и регистрируют наложенные друг на друга потенциалы действия двигательных единиц, исходящие от множества мышечных волокон [1]. Электромиографию можно использовать как для диагностики, так и для лечения, чтобы регистрировать нервно-мышечную активность [2]. Актуальность данной работы обусловлена необходимостью создания доступного и гибкого модуля в среде *Python* для обработки данных, полученных в ходе стандартизированного теста на сжатие зубов.

Основная часть. Исследование проводилось с использованием системы поверхностной электромиографии. Сигналы регистрировались с контролируемых зон височной и жевательной мышц при выполнении теста на сжатие зубов. Частота дискретизации составляла 2 кГц. На этапе обработки реализован алгоритм выделения фаз движения: покой, сжатие, удержание и расслабление. Переход между фазами определялся по временным меткам (*k1, k2, k3, k4*), которые отмечали границы фаз движения. Далее сигнал преобразуется в микровольты и подвергается фильтрации. На рисунке 1 представлен представлен пример ЭМГ парных жевательных мышц.

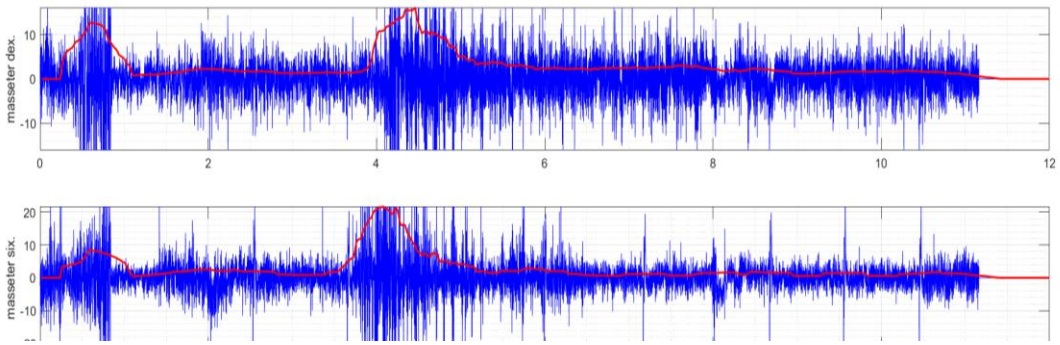


Рисунок 1 – ЭМГ парных жевательных мышц

Ключевым алгоритмом является построение огибающей ЭМГ-сигнала с помощью преобразования Гильберта. Полученная полная огибающая точно повторяет форму сигнала, после чего применяется процедура адаптивной децимации на неперекрывающихся окнах (50–100 мс) для выделения максимальных значений амплитуды. На рисунке 2 представлен пример исходного сигнала и максимумы его огибающей для левой жевательной мышцы.



Рисунок 2 – Сигнал с максимальными значениями огибающей Гильберта для левой жевательной мышцы

Далее, с использованием меток `*border*` и данных покоя, модуль автоматически детектирует контрольные точки *К1–К4* для каждого жевательного цикла. Алгоритм динамически вычисляет порог на основе среднего и стандартного отклонения фоновой активности (`*relax*`), что обеспечивает адаптивность к индивидуальным особенностям сигнала. Для каждой из пяти фаз (покой1, сжатие, удержание, расслабление, покой) вычисляются статистические параметры: средняя амплитуда, СКО, медиана, размах «пик-пик».

Обработка ЭМГ-данных показала закономерное распределение активности по фазам жевательного цикла: резкий рост амплитуды при сжатии, стабильное плато в фазе удержания и постепенное снижение при расслаблении. У более 30 % испытуемых наблюдалась межсторонняя асимметрия, что свидетельствует о неравномерности мышечной активности и возможной функциональной перегрузке одной стороны.

Заключение. Предложенная методика временного анализа ЭМГ-сигналов позволяет проводить количественную оценку функционального состояния жевательной мышцы на основе параметров временной области. Разработанный программный модуль *Python* обеспечивает автоматизацию этапов обработки, расчёт амплитудных характеристик и визуализацию фаз цикла жевания. Применённый подход может быть использован при функциональной диагностике височно-нижнечелюстного сустава, планировании ортодонтического лечения и в реабилитационных исследованиях.

Список литературы

1. *Szyszka-Sommerfeld, L. Surface Electromyography as a Method for Diagnosing Muscle Function in Patients with Congenital Maxillofacial Abnormalities / L. Szyszka-Sommerfeld, M. Lipski, K. Woźniak // Journal of Healthcare Engineering. 2020. No 1–6. DOI: 10.1155/2020/8846920.*

2. *Nishi SE, Basri R, Alam MK. Uses of electromyography in dentistry: An overview with meta-analysis. Eur J Dent. 2016 Jul-Sep;10(3):419-425. DOI: 10.4103/1305-7456.184156.*

UDC 616.831.9-073.97

METHODOLOGY OF TIME-DOMAIN EMG ANALYSIS FOR ASSESSING FUNCTIONAL STATE ON THE EXAMPLE OF THE MASSETER MUSCLE

Shved I.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Samuilau I. U. – Senior Lecturer at the Department of Electronic Engineering and Technology

Annotation. The article presents the development of a software module for the time-domain analysis of electromyographic (EMG) signals in the Python environment. The created software tool allows to automate the processes of processing, visualization and analysis of EMG signals obtained from the masseter and temporal muscles in a standardized test for teeth compression. The paper discusses the features of the anatomy of the studied muscles, the methods of electromyography, the main approaches to the analysis of signals in the time domain.

Keywords: electromyography, Python, time-domain analysis, masseter muscle.

УДК 616.716.4-073.75:616.711.1

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ НИЖНЕЙ ЧЕЛЮСТИ И ШЕЙНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Горбачёв А. А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Самуйлов И.В. – ст. преподаватель ЭТТ

Аннотация. В статье представлены результаты статистического исследования морфометрических параметров челюстно-лицевой области и шейного отдела позвоночника. На основе анализа данных конусно-лучевой компьютерной томографии (КЛКТ) выявлены закономерности распределения плотности костной ткани и геометрической асимметрии суставных структур. Установлены статистически значимые корреляции между положением нижней челюсти и отклонениями позвоночного столба. Результаты работы позволяют сформировать нормативные диапазоны и критические маркеры для объективной оценки патологических состояний в клинической практике.

Ключевые слова: нижняя челюсть, шейный отдел позвоночника, статистический анализ, КЛКТ, асимметрия, плотность костной ткани.

Введение. Современная диагностика зубочелюстных аномалий требует перехода от качественного описания снимков к количественному анализу больших массивов данных. Взаимосвязь между окклюзионными нарушениями и состоянием шейного отдела позвоночника давно отмечена клиницистами, однако отсутствие единых статистических стандартов затрудняет постановку диагноза. Конусно-лучевая компьютерная томография (КЛКТ) предоставляет необходимый объем цифровой информации для проведения глубокого статистического анализа, что делает актуальным поиск устойчивых закономерностей в строении и плотности костных структур для повышения точности медицинской диагностики и планирования лечения.

Основная часть. Методологическую основу данного исследования составил ретроспективный анализ серии снимков конусно-лучевой компьютерной томографии, обработанных в программном комплексе Galileos Viewer. Процесс исследования начался с формирования репрезентативной выборки и проведения прецизионных измерений ключевых антропометрических точек в трехмерном пространстве. В ходе работы детально изучались морфометрические показатели височно-нижнечелюстного сустава, включая ширину передней, верхней и задней суставных щелей. Статистическая обработка этих данных позволила выявить значительную вариабельность пространственного положения суставных головок, которая в ряде случаев напрямую коррелирует с латеральным смещением шейного отдела позвоночника относительно центральной оси [1,2].

Важным аспектом статистического анализа стало изучение плотности костной ткани в области мыщелковых отростков нижней челюсти. При сопоставлении показателей в различных группах было установлено, что в группе условной нормы значения плотности значительно превышают аналогичные показатели у пациентов с признаками дегенеративных изменений. Статистически доказано, что снижение плотности до уровня 1300–1400 относительных единиц является достоверным признаком патологической перестройки кости, характерной для артроза. Кроме того, анализ фронтальных срезов позволил зафиксировать средние значения расстояний между головками суставов и выявить закономерности их изменения при различных типах прикуса, что подтверждается существенным разбросом линейных параметров зубного ряда в пределах от 20 до 33 миллиметров.

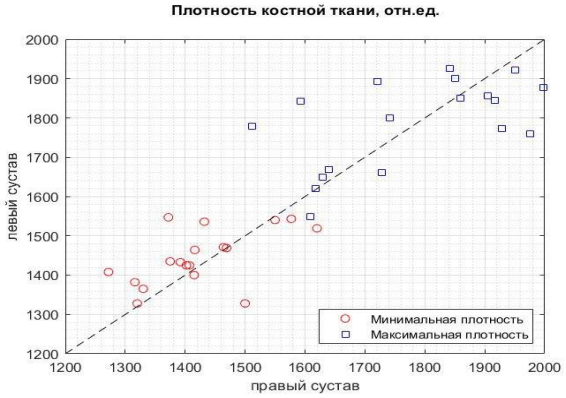


Рисунок 1 – Плотность костной ткани

Особое внимание в ходе исследования уделялось оценке достоверности и воспроизводимости полученных измерений. Статистический расчет погрешностей показал, что определение высоты мыщелковых отростков является наиболее чувствительным к человеческому фактору этапом анализа, где вероятность ошибки может достигать критических значений. Это обстоятельство подчеркивает необходимость внедрения автоматизированных алгоритмов обработки для минимизации субъективности в клинических выводах. Выявленные в процессе анализа отклонения шейных позвонков от вертикали в совокупности с данными о плотности костной ткани позволяют сформировать многофакторную математическую модель состояния пациента. Такая модель служит надежной базой для разработки количественных критериев поддержки принятия решений в ортодонтической, ортопедической и вертебрологической практике [3].

Заключение. Проведенное статистическое исследование подтвердило наличие тесной связи между морфологическими параметрами нижней челюсти и пространственным положением шейного отдела позвоночника. Выявленные диапазоны плотности костной ткани и закономерности изменения суставных щелей позволяют объективизировать процесс выявления патологий на доклиническом этапе, обеспечивая переход от визуальной интерпретации снимков к доказательным числовым показателям.

Список литературы

1. *Герасимова Л. П. Рентгенологическая диагностика мышечно-суставной дисфункции височно-нижнечелюстного сустава сочетанной с патологией шейного отдела позвоночника // Пародонтология. – 2023. – Т. 28, № 3. – С. 227–233.*

2. *Лучевая диагностика в стоматологии: практ. руководство / под ред. А. Ю. Васильева. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010. – 284 с.*

3. *Лечение пациентов с расстройствами височно-нижнечелюстного сустава и жевательных мышц: клинические рекомендации / В. Н. Трезубов [и др.]. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2021. – 90 с.*

UDC 616.716.4-073.75:616.711.1

STUDY OF THE STATE OF THE LOWER JAW AND THE CERVICAL SPINE BASED ON STATISTICAL ANALYSIS

Gorbachev A. A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Samuilov I.V. – Senior Lecturer at the Department of ETT

Annotation. The article presents the results of a statistical study of the morphometric parameters of the maxillofacial region and the cervical spine. Based on the analysis of cone-beam computed tomography (CBCT) data, patterns of distribution of bone tissue density and geometric asymmetry of articular structures were revealed. Statistically significant correlations between the position of the lower jaw and deviations of the spinal column were established. The results of the work allow the formation of normative ranges and critical markers for an objective assessment of pathological conditions in clinical practice.

Keywords: lower jaw, cervical spine, statistical analysis, CBCT, asymmetry, bone density.

УДК 616-71:612.82

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ЧАСТОТНОГО АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ

Ермакович М. А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Самуйлов И.В. – ст. преподаватель кафедры ЭТТ

Аннотация. В работе проведен анализ частотно-пространственных характеристик биоэлектрической активности головного мозга на основе метода электроэнцефалографии (ЭЭГ). Рассмотрены основные ритмы (альфа, бета, тета, дельта), их функциональное значение и топографическое распределение. Исследованы современные подходы к мониторингу когнитивных функций и нейровизуализации. Обоснована важность анализа пространственной асимметрии и частотных паттернов для оценки функционального состояния центральной нервной системы.

Ключевые слова: биоэлектрическая активность, головной мозг, электроэнцефалография (ЭЭГ), частотные ритмы, пространственное распределение, нейровизуализация

Введение. Изучение биоэлектрической активности мозга является фундаментальной задачей современной нейрофизиологии и биомедицинской инженерии. Электроэнцефалография (ЭЭГ) остается одним из наиболее доступных и информативных методов исследования динамики нейронных процессов в реальном времени. Широкое применение микропроцессорной техники и алгоритмов цифровой обработки сигналов позволяет проводить глубокий анализ частотно-пространственного распределения потенциалов, что крайне важно для диагностики патологий, оценки когнитивной нагрузки и разработки интерфейсов «мозг-компьютер». Актуальность данной работы обусловлена необходимостью систематизации подходов к интерпретации ритмической активности мозга в зависимости от локализации электродов и функционального состояния субъекта.[1]

Основная часть. Изучение биоэлектрической активности мозга базируется на анализе суммарных потенциалов, возникающих в результате синаптической передачи сигналов между пирамидными нейронами коры. Основным методом регистрации данных процессов является электроэнцефалография (ЭЭГ). В состоянии спокойного бодрствования доминирующим компонентом спектра выступает альфа-ритм (8–13 Гц), тогда как бета-активность (13–30 Гц) ассоциируется с когнитивным напряжением и процессами активного внимания. Для коррекции функционального состояния и управления нейронной динамикой применяется транскраниальная магнитная стимуляция (ТМС). Современные исследования подтверждают, что высокочастотное воздействие (10–12 Гц) способно модулировать мощность ритмов и снижать уровень психоэмоционального напряжения.[2]

Экспериментальное исследование проводилось на базе 16-канального цифрового электроэнцефалографа «Мицар-ЭЭГ-10/70-201». Регистрация сигналов осуществлялась по международной системе «10-20» с контролем импеданса на уровне ≤ 5 кОм. Протокол включал фоновую запись (открытые/закрытые глаза), выполнение когнитивной задачи (ментальная арифметика) и последующее воздействие ТМС частотой 12 Гц в течение 1 минуты с помощью аппарата «Нейро-МС-Д».[3]

Математическая обработка данных выполнялась в среде *MATLAB* методом Уэлча. В качестве ключевого параметра анализа использовалась медианная частота (*MF*), характеризующая частотный центр тяжести спектра мощности. Расчет производился для альфа- и бета-диапазонов на 40-секундных эпохах записи. Результаты анализа показали, что воздействие 12 Гц ТМС вызывает специфические частотно-пространственные перестройки. В состоянии с открытыми глазами наблюдалось повышение медианной частоты бета-ритма (Δ = +0,25 Гц), преимущественно в правых лобно-центральных отделах (*F4, C4, P4*), что интерпретируется как усиление коркового тонуса и готовности к деятельности.

Наиболее значимые изменения зафиксированы в состоянии с закрытыми глазами: произошло статистически достоверное снижение медианной частоты бета-диапазона в

среднем на 0,84 ± 0,21 Гц ($p < 0,001$) по всем отведениям с акцентом в лобных зонах (*Fz, Cz, F3, F4*). При этом параметры альфа-ритма оставались относительно стабильными ($\Delta = -0,12$ Гц). Подобная динамика отражает переход центральной нервной системы к состоянию глубокой релаксации и эффективного торможения под влиянием внешней стимуляции.[2]

Анализ показал, что после ТМС-воздействия также снижается выраженность десинхронизации ритмов при когнитивной нагрузке, что свидетельствует об оптимизации энергетических ресурсов мозга и повышении стрессоустойчивости. Таким образом, параметр медианной частоты бета-ритма в состоянии покоя с закрытыми глазами является высокочувствительным объективным маркером для оценки эффективности нейромодуляции и оперативной коррекции стресс-ассоциированных состояний у студентов.

Заключение. В ходе научно-исследовательской работы изучены частотно-пространственные характеристики биоэлектрической активности мозга студентов при воздействии транскраниальной магнитной стимуляции (ТМС) частотой 12 Гц. Разработанный протокол регистрации ЭЭГ с использованием системы «Мицар-ЭЭГ-10/70-201» и расчет медианной частоты спектра позволили объективно оценить динамику функционального состояния ЦНС. Установлено, что однократное воздействие ТМС вызывает статистически значимое снижение медианной частоты бета-ритма в состоянии покоя с закрытыми глазами (в среднем на 0,84 Гц), что свидетельствует об усилении процессов внутреннего торможения и нормализации психоэмоционального состояния.

Практическая значимость исследования заключается в подтверждении эффективности коротких протоколов альфа-диапазонной ТМС как метода оперативной коррекции стресс-ассоциированных состояний. Выявленные изменения медианной частоты бета-диапазона могут служить надежным диагностическим маркером для оценки функциональных резервов коры и уровня стрессоустойчивости. Полученные результаты создают методическую базу для внедрения подобных технологий в систему психофизиологической поддержки студентов в периоды повышенных учебных нагрузок.

Список литературы

1. *Neuroimaging of performance monitoring / M. Ullsperger [u др.] // NeuroImage. – 2014. – Vol. 102, P. 2. – P. 358–369.*

2. *Bazanova, O. M. Interpreting EEG alpha activity / O. M. Bazanova, D. Vernon // Neuroscience & Biobehavioral Reviews. – 2014. – Vol. 44. – P. 94–110.*

3. *Мицар-ЭЭГ-10/70-201 Ambimed [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ambimed.ru/product/elektroentsefalograf-mitsar-eeg-10-70-201/?srsltid=AfmBOorA0Ng3V4Zx1XBXaFJDV6Ru4CXwCM_z5WSt-0hvoReDSvypNMZ4. Дата доступ: 26.02.2026*

UDC 616-71:612.82

ASSESSMENT OF THE CENTRAL NERVOUS SYSTEM STATE BASED ON SPATIAL-FREQUENCY ANALYSIS OF THE ELECTROENCEPHALOGRAM

Yermakovich M. A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Samuilov I.V. – Senior Lecturera at the *Department of ETT*

Annotation. The paper analyzes the frequency-spatial characteristics of the brain's bioelectrical activity based on the electroencephalography (EEG) method. It considers the main rhythms (alpha, beta, theta, delta), their functional significance, and topographical distribution. Modern approaches to monitoring cognitive functions and neuroimaging are investigated. The importance of analyzing spatial asymmetry and frequency patterns for assessing the functional state of the central nervous system is substantiated.

Keywords: bioelectrical activity, brain, electroencephalography (EEG), frequency rhythms, spatial distribution, neuroimaging

УДК 621.396.6.001

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЦЕЛОСТНОСТИ СИГНАЛОВ В ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ИНТЕРФЕЙСАХ

Жук Е.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Собчук Н.С. – ст. преподаватель кафедры ЭТТ

Аннотация. Представлен учебный программный комплекс для наглядного изучения целостности сигналов в высокоскоростных цифровых интерфейсах. Реализованы линейные коды *NRZ*, манчестерский и *MLT-3*, упрощенная модель канала (белый шум, джиттер, *RC*-фильтрация) и построение глазковой диаграммы для оценки «закрытия глаза». Дополнительно выполнен расчет волнового сопротивления микрополосковой линии и стриплайна по формулам *IPC*. Параметры шума, джиттера и *RC*-постоянной могут изменяться пользователем, что позволяет проследить влияние искажений на раскрытие глаза.

Ключевые слова: целостность сигналов; высокоскоростные интерфейсы; линейное кодирование; глазковая диаграмма; джиттер; белый шум; *RC*-фильтрация; микрополосковая линия; стриплайн; волновое сопротивление.

Введение. Подобные эффекты характерны для интерфейсов *PCIe, USB, Ethernet* и др. Высокоскоростные цифровые интерфейсы предъявляют повышенные требования к целостности сигналов (*Signal Integrity, SI*): рост частоты и крутизны фронтов усиливает влияние паразитных параметров линий передачи и межсоединений. Это приводит к смещению момента переключения (джиттеру), деградации фронтов при ограничении полосы и амплитудным искажениям вследствие шумов. Цель работы – разработка учебного программного комплекса, объединяющего генерацию сигналов, упрощенную модель канала, построение глазковой диаграммы и расчет волнового сопротивления микрополоски и стриплайна.

Основная часть. Комплекс объединяет три модуля: *Encoder* (генерация и кодирование), *Eye Diagram* (построение глазковой диаграммы) и *PCB Calc* (расчет волнового сопротивления печатных линий). В *Encoder* формируются идеальная временная диаграмма и сигнал после прохождения модели канала; этот массив используется в *Eye Diagram* для построения глаза. В *PCB Calc* по параметрам *W, H, T* и *εr* вычисляется *Z0* микрополосковой линии и стриплайна по формулам *IPC*. Комплекс ориентирован на учебные лабораторные работы и демонстрации, для чего и был разработан удобный интерфейс (рисунок 1):

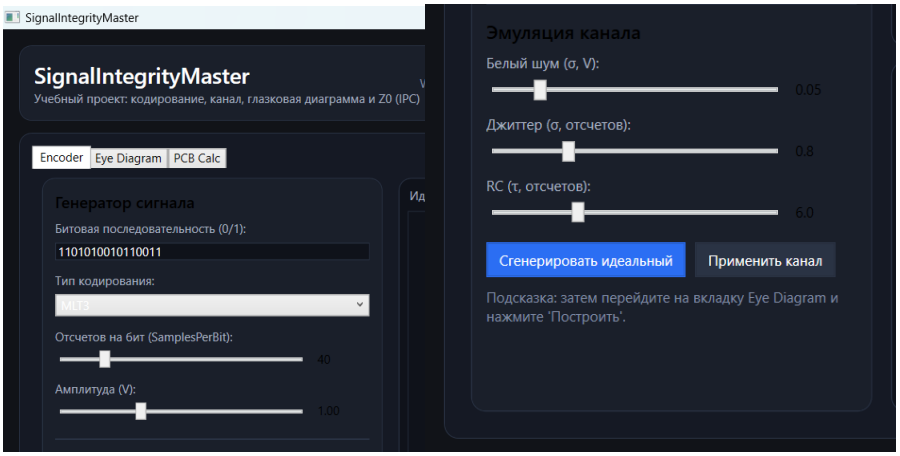


Рисунок 1 – Главное окно проекта с вкладками *Encoder*, *Eye Diagram* и *PCB Calc*

Архитектура реализована в *WPF* (*.NET 6*) по паттерну *MVVM*: вычисления выполняются во *ViewModel*, а графики отрисовываются на *Canvas* (*Polyline*). Это упрощает сопровождение и расширение комплекса.

Формирование временных диаграмм выполняется по входной битовой строке с дискретизацией *SamplesPerBit* на битовый интервал (*UI*). Реализованы коды *NRZ* (двухуровневый), *Manchester* (переход внутри *UI*) и *MLT-3* (трехуровневый код с переходами при «1»), что позволяет сравнить плотность переключений и требования к полосе.

С практической точки зрения *NRZ* прост и широко применяется, однако при высоких скоростях чувствителен к затуханию и помехам; *Manchester* обеспечивает самосинхронизацию за счет обязательного перехода внутри *UI*, но требует большей полосы; *MLT-3* снижает спектральную ширину по сравнению с *NRZ* за счет многоуровневости, что полезно для линий с ограниченной полосой.

Для приближения к реальным условиям передачи реализована упрощенная модель канала: аддитивный белый шум (*AWGN*), джиттер и *RC*-фильтрация первого порядка. Шум добавляется к отсчетам как нормальная случайная величина с σ; джиттер моделируется случайным смещением момента выборки с интерполяцией; *RC*-фильтр имитирует ограничение полосы и завал фронтов. В модели предусмотрена регулировка σ для *AWGN*, величины джиттера (в долях *UI*) и постоянной времени τ *RC*-фильтра. При сравнение идеального сигнала и сигнала после прохождения канала, где наблюдаются снижение крутизны фронтов при усилении фильтрации и рост амплитудного разброса при увеличении шумовой составляющей; при увеличении джиттера дополнительно ухудшается повторяемость момента переключения, что критично для высокоскоростных систем синхронного приёма (рисунок 2):

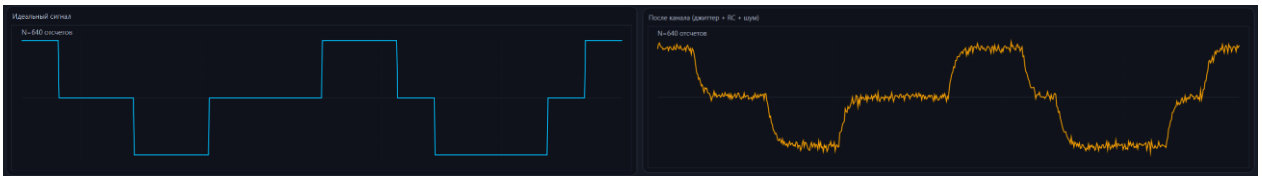


Рисунок 2 – Сравнение идеального сигнала и сигнала после канала (джиттер + *RC*-фильтрация + белый шум)

Глазковая диаграмма строится по сигналу после канала: последовательность нарезается на окна длиной несколько *UI* и фрагменты накладываются на один график. Вертикальное закрытие отражает рост амплитудного разброса (шум), горизонтальное - разброс моментов переходов (джиттер), а фильтрация снижает крутизну фронтов. В учебном режиме удобно наблюдать, как оптимальный момент выборки смещается, а окно по времени/амплитуде уменьшается при росте джиттера и шума (рисунок 3):

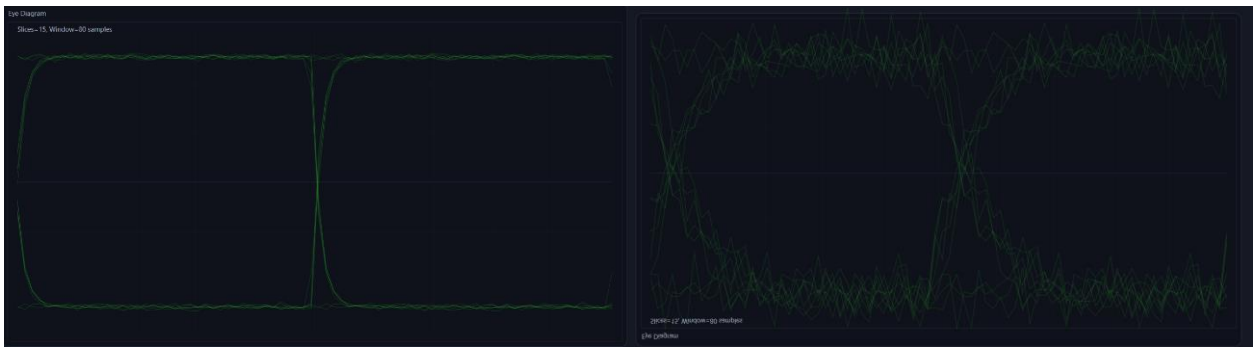


Рисунок 3 – Глазковая диаграмма при умеренных искажениях и при повышенных искажениях (закрытие глаза)

Для связи наблюдаемых искажений с параметрами межсоединений предусмотрен модуль *PCB Calc*, выполняющий расчёт волнового сопротивления *Z0* для двух типовых структур печатных линий: микрополосковой линии (*Microstrip*), и стриплайна (*Stripline*). Пример формы ввода и результата расчёта приведён далее (рисунок 4):

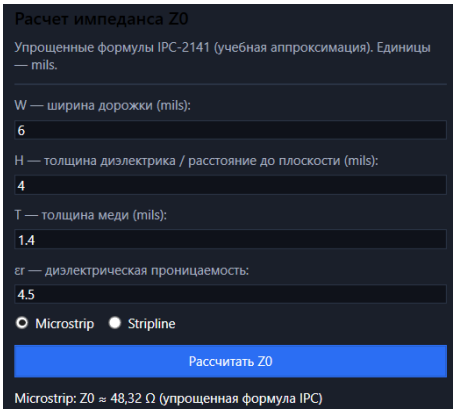


Рисунок 4 – Окно *PCB Calc*: расчет волнового сопротивления микрополосковой линии и стриплайна по параметрам *W, H, T, εr*

Пользователь задает *W, H, T* и *εr*, после чего по инженерным аппроксимациям *IPC* вычисляется *Z0*. Увеличение *W* снижает импеданс, увеличение *H* повышает его, а рост *εr* обычно уменьшает *Z0*. Это помогает быстро подобрать геометрию трассы под требуемые значения (например, 50/90/100 Ом). Для микрополоски и стриплайна различаются эффективная диэлектрическая проницаемость и зависимость *Z0* от высоты *H*, что учитывается выбранными аппроксимациями.

Заключение. Разработан учебный программный комплекс для моделирования целостности сигналов в высокоскоростных интерфейсах. Поддерживаются линейное кодирование (*NRZ, Manchester*, *MLT-3*), упрощенная модель канала (*AWGN*, джиттер, *RC*-фильтрация) и построение глазковой диаграммы для оценки запаса по времени и амплитуде. Модуль *PCB Calc* выполняет расчет волнового сопротивления микрополосковой линии и стриплайна по формулам *IPC*. Комплекс может использоваться как основа для учебных стендов по *SI* и последующего расширения модели канала.

Список литературы

1. *IPC-2141A:2004-04-21. Design Guide for High-Speed Controlled Impedance Circuit Boards. IPC, 2004.*
2. *Bogatin E. Signal and Power Integrity – Simplified. 3rd ed. Pearson, 2018.*
3. *Johnson H., Graham M. High-Speed Digital Design: A Handbook of Black Magic. Prentice Hall, 1993.*
4. *Paul C. R. Analysis of Multiconductor Transmission Lines. 2nd ed. Wiley-IEEE Press, October 2007.*

UDC 621.396.6.001

DEVELOPMENT OF A SOFTWARE PACKAGE FOR MODELING SIGNAL INTEGRITY IN HIGH-SPEED INTERFACES

Zhuk Y.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Sobchuk N.S. – Senior Lecturer, Department of ETT

Annotation. An educational software tool for visualizing signal integrity in high-speed digital interfaces is presented. It supports *NRZ*, *Manchester* and *MLT-3* coding, a simplified channel model (*AWGN*, jitter and *RC* low-pass filtering) and eye diagram construction for assessing eye closure. The *PCB Calc* module estimates characteristic impedance of microstrip and stripline traces from *W, H, T* and *εr* using *IPC*-based formulas. Channel parameters can be adjusted interactively to observe their impact on eye opening.

Keywords: signal integrity; line coding; eye diagram; jitter; *AWGN*; *RC* filtering; characteristic impedance; microstrip; stripline; bandwidth limitation.

УДК 621.382.323:621.314

ТЕХНОЛОГИЯ СНИЖЕНИЯ ТОКОВ УТЕЧКИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ AlGaN/GaN ТРАНЗИСТОРОВ МЕТОДОМ КОМБИНИРОВАННОЙ LPCVD-ПАССИВАЦИИ И ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Жук Е.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Соловьев Я.А. – д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры ЭТТ

Аннотация. Представлен метод изготовления мощных полевых транзисторов с гетеропереходом на основе нитрида алюминия-галлия и нитрида галлия на подложке из кремния. Ключевой особенностью является применение высокотемпературной пассивации нитридом кремния, полученным методом химического осаждения из газовой фазы при пониженном давлении, под затворным диэлектриком и использование топологии с полной изоляцией областей стока и истока металлом затвора. Экспериментально подтверждено, что данная комбинация эффективно подавляет поверхностные утечки, обеспечивая минимальный ток в закрытом состоянии при высоком напряжении стока.

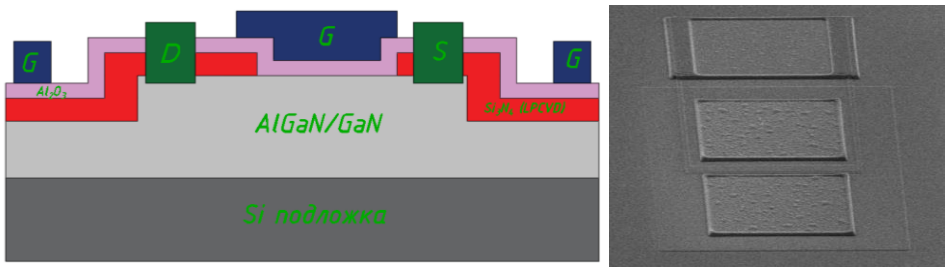
Ключевые слова: полевой транзистор с гетеропереходом; нитрид алюминия-галлия; нитрид галлия; силовая электроника; ток утечки; пассивация; нитрид кремния; химическое осаждение из газовой фазы; топология затвора; изоляция стока; структура металл-диэлектрик-полупроводник; высоковольтный транзистор.

Введение. Мощные полевые транзисторы на основе гетероструктур нитрид алюминия-галлия с нитридом галлия *AlGaN/GaN Heterostructure Field-Effect Transistor (HFET)* являются перспективной элементной базой для силовой электроники и СВЧ-применений благодаря высоким значениям пробивных напряжений, рабочей температуры и частоты переключений. Особый интерес представляет реализация таких структур на кремниевых подложках, что существенно снижает стоимость производства по сравнению с подложками из карбида кремния или сапфира. Однако ключевой проблемой, ограничивающей надежность и эффективность высоковольтных GaN-транзисторов, остается высокий и нестабильный ток утечки в закрытом состоянии. Основными путями протекания токов утечки являются поверхность гетероструктуры и меза-изоляция. Традиционные методы пассивации (например, *Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition* (*PECVD*) химическое осаждение из газовой фазы, стимулированное плазмой) часто не обеспечивают достаточного подавления поверхностных состояний. В данной работе исследуется эффективность применения химического осаждения из газовой фазы при пониженном давлении нитрида кремния (*Low Pressure Chemical Vapor* Deposition (*LPCVD) SiN*) в качестве первого слоя пассивации, расположенного непосредственно под затворным диэлектриком, в сочетании с топологическим решением по полной изоляции контактных площадок стока и истока металлом затвора. Целью работы является демонстрация того, что комбинация качественной межфазной границы, обеспеченной *LPCVD*-процессом, и «окольцовывающей» топологии затвора позволяет снизить токи утечки до уровня наноампер при напряжении стока до 600–700 В.

Основная часть. Экспериментальные образцы изготавливались на основе эпитаксиальных структур *AlGaN/GaN*, выращенных методом осаждение металлоорганических соединений из газовой фазы (*Metal Organic Chemical Vapor Deposition* (*MOCVD*)) на подложке *Si*(111). Структура включала буферный слой, нелегированный канал *GaN* и барьерный слой *AlGaN*. Ключевой особенностью технологического маршрута являлось нанесение слоя пассивации *SiNx* методом осаждения из газовой фазы при пониженном давлении (*LPCVD*) толщиной 100 нм при температуре 800°C до формирования омических контактов и затвора. Высокая температура осаждения способствует улучшению качества интерфейса и защите поверхности *AlGaN* от повреждений на последующих этапах обработки.

Важным конструктивным отличием разработанных транзисторов является формирование затворной структуры типа металл-оксид-полупроводник (*Metal-Oxide-Semiconductor HFET MOS-HFET)*. В слое *LPCVD SiNx* вытравливалась канавка с наклонными

стенками, после чего методом атомно-слоевого осаждения (*Atomic Layer Deposition* (*ALD*)) наносился подзатворный диэлектрик Al_2O_3 толщиной 10 нм. Таким образом, диэлектрик затвора формируется не просто на поверхности полупроводника, а перекрывает слой высококачественного *LPCVD SiNx*, который выполняет роль маски и дополнительной пассивации. Металлизация затвора формировалась с полевым электродом (*Field Plate*), выступающим на слой *SiNx* в сторону стока для снижения пиковых полей. Для исследования влияния топологии на токи утечки были реализованы и сравнены несколько вариантов конфигурации затворной шины. Наилучшие результаты показала топология, в которой металл затвора полностью «окольцовывает» (изолирует) не только область истока, но и область стока. Это создает потенциальный барьер, эффективно подавляющий поверхностные утечки через боковые стенки меза-изоляции (рисунок 1):



а) б)

Рисунок 1 – Схематическое изображение: а – поперечное сечения структуры *MOS-HFET* с пассивацией *LPCVD SiN*; б – топология с полной изоляцией стока затворной шиной (изображение получено при помощи растрового электронного микроскопа)

Измерения электрических характеристик показали, что наличие слоя *LPCVD SiNx* критически важно для снижения поверхностных состояний. Однако именно топологическое решение с полной изоляцией площадок стока и истока позволило достичь экстремально низких значений токов утечки.

На вольтамперных характеристиках в закрытом состоянии (при V_{GS}= −10 В) наблюдается существенная разница между топологиями. В структурах без полной изоляции ток утечки возрастает с увеличением напряжения стока. В то же время, разработанная структура с полной изоляцией демонстрирует стабильный ток утечки менее 20 нА/мм при напряжении на стоке V_{DS}= 600 В. Это подтверждает, что металл затвора, окружающий контактные площадки, эффективно перекрывает пути утечки по поверхности меза-структуры, которые не могут быть устранены одной лишь пассивацией. Также было отмечено, что применение *LPCVD SiNx* под слоем Al_2O_3 обеспечивает высокую однородность характеристик по пластине и снижает гистерезис, что свидетельствует о высоком качестве границы раздела диэлектрик/полупроводник (рисунок 2):

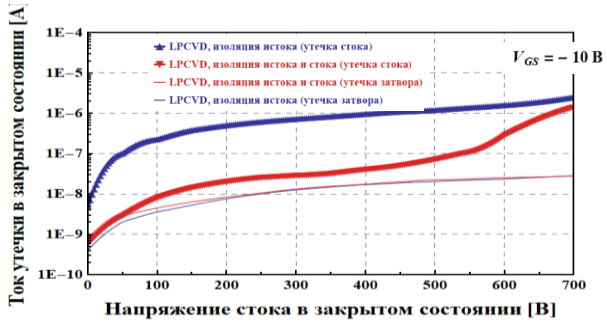


Рисунок 2 – Сравнение токов утечки в закрытом состоянии для различных топологий: существенное снижение тока и его стабилизация наблюдаются для структуры с полной изоляцией стока и истока (нижняя кривая)

Данный подход был масштабирован на мощные многопальцевые транзисторы с общей шириной затвора 80 мм. Топология с полной изоляцией активных областей металлом затвора в сочетании с качественной подзатворной пассивацией позволила достичь высоких выходных токов (более 20 А) при сохранении низкого сопротивления в открытом состоянии (*Ron*≈ 0,22 Ом). При этом блокирующая способность транзистора сохранялась вплоть до

напряжений 700 В, где ток утечки не превышал 1 мкА/мм. Важно отметить, что механизм подавления утечки в данной конструкции основан на электростатическом экранировании: потенциальный барьер, создаваемый затворной шиной вокруг стока, разрывает каналы проводимости, возникающие из-за дефектов травления мезы или поверхностных загрязнений. Это делает технологию применимой для приборов, работающих в режиме обогащения (D-mode), и каскодных схем.

Заключение. В работе представлен надежный технологический подход к созданию высоковольтных транзисторов *GaN-on-Si* с улучшенными характеристиками утечки. Показано, что применение высокотемпературного *LPCVD SiNx* в качестве первичной пассивации, поверх которой формируется *MOS*-структура с диэлектриком Al_2O_3, позволяет минимизировать плотность поверхностных состояний. Ключевым результатом является экспериментальное подтверждение эффективности топологии с полной изоляцией областей стока и истока металлом затвора. Данное конструктивное решение в сочетании с предложенным маршрутом пассивации обеспечивает снижение токов утечки в закрытом состоянии до значений менее 1 мкА/мм (типично < 20 нА/мм) при напряжении 600 В, что значительно превосходит характеристики стандартных структур. Разработанная технология перспективна для производства высокоэффективных силовых преобразователей.

Список литературы

1. *Deng L., Zhou L., Lu H., Yang L., Yu Q., Zhang M., Wu M., Hou B., Ma X., Hao Y. Comprehensive Comparison of MOCVD- and LPCVD-SiN_x Surface Passivation for AlGaN/GaN HEMTs for 5G RF Applications. Micromachines (Basel), 2023; 14(11):2104.*

2. *Wang X., Huang S., Zheng Y., Wei K., Chen X., Liu G., Yuan T., Luo W., Pang L., Jiang H., Li J., Zhao C., Zhang H., Liu X. Robust SiN_x/AlGaN Interface in GaN HEMTs Passivated by Thick LPCVD-Grown SiN_x Layer. IEEE Electron Device Letters, 2015; 36(7):666–668.*

3. *Lu X., Jiang H., Liu C., Zou X., Lau K.M. Off-state Leakage Current Reduction in AlGaN/GaN High Electron Mobility Transistors by Combining Surface Treatment and Post-gate Annealing. Semiconductor Science and Technology, 2016; 31:055019.*

4. *Ye P.D., Yang B., Ng K.K., Bude J., Wilk G.D., Halder S., Hwang J.C.M. GaN MOS-HEMT Using Atomic Layer Deposition Al_2O_3 as Gate Dielectric and Surface Passivation. International Journal of High-Speed Electronics and Systems, 2004; 14(3):791–796.*

UDC 621.382.323:621.314

LEAKAGE CURRENT REDUCTION TECHNOLOGY FOR HIGH-VOLTAGE AlGaN/GaN TRANSISTORS USING COMBINED LPCVD PASSIVATION AND TOPOLOGICAL ISOLATION

Zhuk Y.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Solovjov J.A. – Dr. of Sci., associate professor, Professor of the Department of ETT

Annotation. A fabrication method for high-power aluminum gallium nitride/gallium nitride heterojunction field-effect transistors on silicon substrates is presented. The key feature is the application of high-temperature silicon nitride passivation deposited by low pressure chemical vapor deposition under the gate dielectric combined with a topology providing complete isolation of source and drain regions by the gate metal. Experiments confirmed that this combination effectively suppresses surface leakage, achieving minimum off-state current at high drain voltage.

Keywords: aluminum gallium nitride; gallium nitride; heterojunction field-effect transistor; power electronics; leakage current; passivation; silicon nitride; low pressure chemical vapor deposition; gate topology; drain isolation; metal-oxide-semiconductor structure; high-voltage transistor.

УДК 621.3.049.77–048.24:537.2

ФОРМИРОВАНИЕ ВЫСОКООМНЫХ РЕЗИСТИВНЫХ ПЛЕНОК ОКСИДА И НИТРИДА КРЕМНИЯ-ТИТАНА МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

Александрович П. А., Бохань Л.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Голосов Д. А. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ЭТТ

Аннотация. Исследованы зависимости электрофизических характеристик пленок оксида и нитрида кремния-титана от параметров процесса совместного магнетронного распыления. Установлено, что удельное сопротивление пленок нитрида и оксида кремния-титана имело сильную зависимость от концентрации реактивного газа в камере. Для всех образцов наблюдались отрицательные значения температурный коэффициент сопротивления (ТКС) (0,04%/°С – 1,08 %/°С). При увеличении удельного сопротивления ТКС пленок увеличивался.

Ключевые слова: тонкопленочный резистор, реактивное магнетронное распыление, совместное распыление, удельное сопротивление, температурный коэффициент сопротивления

Введение. В настоящее время для калориметрии и регистрации слабых оптических сигналов все больше стали применяться твердотельные кремниевые фотоумножители. В них используются интегрированные высокоомные гасящие резисторы сопротивлением 250 – 300 кОм. Традиционно в качестве материала высокоомного гасящего резистора используется поликремний. Однако поликремний имеет сравнительно высокие значения температурного коэффициента сопротивления ТКС = (-2 – -3) кОм/°С. Для изготовления высокоомных резисторов в ряде работ предложено использовать нитриды и оксиды кремния-титана. Титан и кремний имеют противоположные значения ТКС, а оксидирование или нитритизация такой смеси позволяет в широких пределах регулировать удельное сопротивление пленок. Для формирования пленок оксида и нитрида кремния-титана большие перспективы имеет метод совместного реактивного магнетронного распыления. В этом методе для получения многокомпонентных пленок используется несколько распылительных устройств и каждый элемент наносится отдельным магнетроном.

В данной статье будет рассмотрена зависимость ТКС резистивных пленок оксида и нитрида кремния-титана от концентрации азота и кислорода при их формировании.

Основная часть. Формирование пленок проводилось на экспериментальной установке следующей конфигурации (рисунок 1):

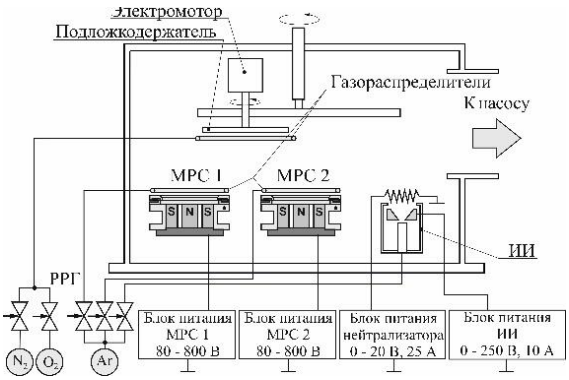


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки для нанесения тонкопленочных слоев методом совместного реактивного магнетронного распыления

При нанесении пленок использовалась раздельная газоподача инертного и реактивного газов. Аргон подавался в газораспределительные системы магнетронов. Поток аргона в каждый магнетрон составлял Q_{Ar} = 25 мл/мин. Реактивный газ (азот или кислород) подавался

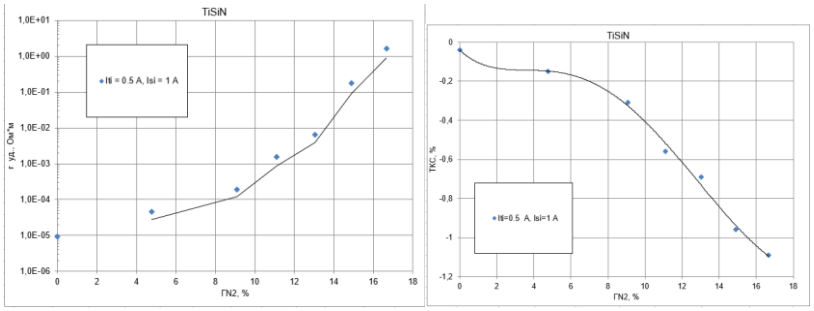
в область подложки. Поток азота изменялся от 0 до 12,5 мл/мин. Поток кислорода изменялся от 0 до 7,5 мл/мин. Концентрация реактивного газа в камере рассчитывалась по формуле 1

$$\Gamma_R(\%) = \frac{Q_R}{Q_R+Q_{Ar}}100, \quad (1)$$

где Γ_R – поток реактивного газа в камеру.

Соотношение Si и Ti в пленках регулировалась за счет изменения соотношения токов магнетронов. Ток разряда магнетронов изменялся от 0 до 1.5 А.

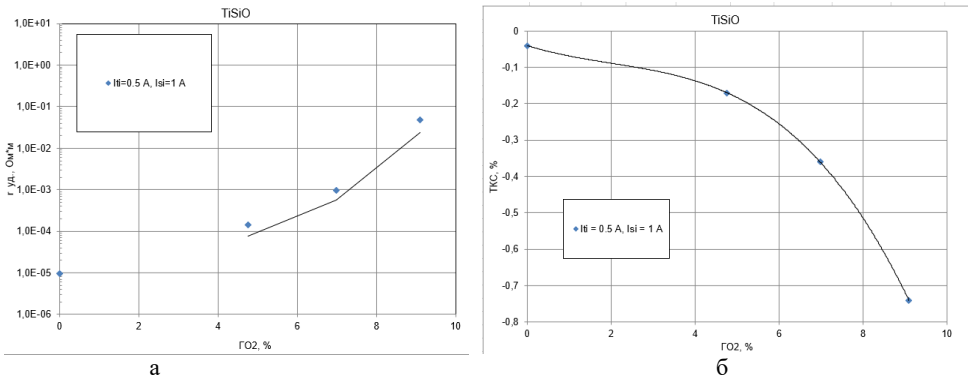
На рисунке 2 представлена зависимость удельного сопротивления и ТКС пленок нитрида кремния-титана от концентрации азота в Ar/N_2 смеси газов. При токе разряда магнетронов I_{Ti} = 0,5 А, I_{Si} = 1,0 А и распылении мишеней в среде Ar удельное сопротивление пленок составляло 10^{-5} Ом·м и экспоненциально увеличивалось при добавке азота. При концентрации азота в камере около 14,5 % удельное сопротивление пленок достигало 0,01 Ом·м. При дальнейшем увеличении Γ_{N2} формировались диэлектрические пленки с поверхностным сопротивлением более 1 МОм/кв. ТКС пленок имел отрицательное значение и увеличивался до 1,08 %/°С при концентрации азота Γ_{N2} с 0,04 %/°С при концентрации азота 16,7 %.



а б

Рисунок 2 – Зависимость удельного сопротивления (а) и ТКС (б) пленок нитрида кремния-титана от концентрации азота в Ar/N_2 смеси газов

На рисунке 3 представлены зависимости удельного сопротивления и ТКС пленок оксида кремния-титана от концентрации кислорода в Ar/O_2 смеси газов. При увеличении Γ_{O2} также наблюдалось резкое увеличение удельного сопротивления пленок. Пленки с удельным сопротивлением 0,01 Ом·м формировались при концентрации кислорода в Ar/O_2 смеси газов около 9,5 %. Т.е. формирование диэлектрических пленок оксида кремния-титана наблюдалось при меньших концентрациях реактивного газа по сравнению с нитридом кремния-титана. ТКС пленок $Ti_{1-x}Si_xO_y$ также был отрицательным. При увеличении Γ_{O2} от 0 до 9,5 % ТКС пленок увеличивался от 0,04 %/°С до 0,8 %/°С.



а б

Рисунок 3 – Зависимость удельного сопротивления (а) и ТКС (б) пленок оксида кремния-титана от концентрации азота в Ar/N_2 смеси газов

Заключение. Проведены исследования влияния параметров процесса магнетронного распыления на состав, структуру и электрофизические характеристики пленок оксида и нитрида кремния-титана. На основе полученных экспериментальных данных установлено:

При распылении мишеней в среде Ar/N_2 рабочих газов удельное сопротивление пленок $Ti_{1-x}Si_xN_y$ увеличивается и достигает значений 0,01 Ом·м при концентрации азота в Ar/N_2 смеси газов 16,7 %. ТКС пленок имеет отрицательное значение и увеличивается при увеличении Γ_{N2} с 0,04 %/°С при концентрации азота 0 % до 1,08 %/°С при концентрации азота 16,7 %.

При распылении мишеней в среде Ar/O_2 рабочих газов удельное сопротивление пленок $Ti_{1-x}Si_xO_y$ увеличивается и достигает значений 0,01 Ом·м при концентрации кислорода в Ar/O_2 смеси газов около 9,5 %. ТКС пленок имеет отрицательное значение и увеличивается при увеличении Γ_{O2} с 0,04 %/°С при концентрации кислорода 0 % до 0,8 %/°С при Γ_{O2} = 9,5 %. При концентрации кислорода 9,5 %.

Список литературы

1. *Ti_5Si_4 Nanobats with excellent field emission properties / C.-M. Chang [et al.] // J. Phys. Chem. C. – 2009. – Vol. 113. – P. 9153–9156.*
2. *Observation of thermal growth of silicide on titanium-deposited silicon surfaces / T. Iida [et al.] // Surf. Sci. – 2007. – Vol. 601. – P. 4444–4448.*
3. *Chen, L. J. Metal silicides: an integral part of microelectronics / L. J. Chen // JOM The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society. – 2005. – Vol. 57. – P. 24–30.*
4. *Growth of high-density titanium suicide nanowires in a single direction on a silicon surface / H. C. Hsu [et al.] // Nano Lett. – 2007. – Vol. 7. – P. 885–889.*
5. *Strain sensitivity of TiB_2, $TiSi_2$, $TaSi_2$ and WSi_2 thin films as possible candidates for high temperature strain gauges / G. Schultes [et al.] // Sensors Actuators A Phys. – 2006. – Vol. 126. – P. 287–291.*
6. *Nitride films deposited from an equimolar Al–Cr–Mo–Si–Ti alloy target by reactive direct current magnetron sputtering / H.-W. Chang [et al.] // Thin Solid Films. – 2008. – Vol. 516. – P. 6402–6408.*
7. *Plasma emission controlled multi-target reactive sputtering for in-situ crystallized $Pb(Zr,Ti)O_3$ thin films on 6" Si-wafers / V. S. Vidyarthi [et al.] // Thin Solid Films. – 2007. – Vol. 515. – P. 3547–3553.*
8. *Multi-target reactive sputtering – a promising technology for large-area $Pb(Zr,Ti)O_3$ thin film deposition / G. Suchaneck [et al.] // J. of the European Ceramic Society. – 2007. – Vol. 27. – P. 3789–3792.*
9. *Murarka, S. P. Silicide formation in thin cosputtered (titanium+silicon) films on polycrystalline silicon and SiO_2 / S. P. Murarka, D. B. Fraser // J. Appl. Phys. – 1980. – Vol. 51. – P. 350–356.*
10. *Plasma diagnostics. Discharge parameters and chemistry / Ed.: O. Auciello, D.L. Flamm. – Academic Press, 1989. – 470 p.*

UDC 621.3.049.77–048.24:537.2

FORMATION OF HIGH-RESISTANCE RESISTIVE FILMS OF OXIDE AND NITRIDE OF SILICON-TITAN BY MAGNETRON SPUTTERING

Alexandrovitch P.A., Bohan L.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Golosov D. *A. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ETT*

Annotation. The dependence of the electrophysical characteristics of silicon-titanium oxide and nitride films on the parameters of the magnetron co-sputtering process was studied. It was found that resistivity of the silicon-titanium nitride and oxide films deposited by the reactive magnetron co-sputtering method had a strong dependence on the concentration of the reactive gas in the chamber. Negative TCR values (0.04%/°C – 1.08%/°C) were observed for all samples. As the resistivity of the films increased, the TCR increased.

Keywords: thin film resistor, reactive magnetron sputtering, co-sputtering, resistivity, temperature coefficient of resistance

УДК 611.018.62

МОДЕЛЬ МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ ПРИ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИИ

Гладких А.П., Сакович М.С., Соловьев А.Я.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научные руководители: Камлач П.В. - к. т. н., доцент
Чураков А.В. - к. м. н., доцент

Аннотация. В статье рассматривается компьютерное моделирование мышечной ткани человека. Исследование посвящено анализу процесса электростимуляции мышц. Модель включает мышечные волокна, фасцию и электроды. Разработка выполнена в программной среде Sim4Life. Мышечная ткань представлена в виде сетчатой структуры волокон. Фасция моделируется как слой с пониженной электропроводностью. Электроды выполнены из медицинской нержавеющей стали. Симуляция проводилась в режиме воздействия переменным током. Результаты показали неоднородность распределения электрического поля. Выявлено, что глубина эффективного воздействия ограничена поверхностными слоями.

Ключевые слова: мышцы, фасция, электростимуляция, компьютерная модель

Введение. Компьютерное моделирование тканей человека является критически важным и актуальным направлением в современной медицине, биологии и биоинженерии. Оно позволяет создавать виртуальные модели органов и систем, имитировать их функции, анализировать реакции на внешние воздействия и прогнозировать развитие заболеваний [1].

В рамках данного исследования разработана и проанализирована объемная геометрическая модель мышечного комплекса, включающего фасциальную оболочку и мышечные волокна, а также электроды для последующего анализа результатов воздействия электростимуляции. Построение модели и последующий вычислительный эксперимент выполнены в программной среде Sim4Life.

Основная часть. Процесс исследования воздействия тока на мышечную ткань с помощью моделирования включает в себя два ключевых этапа, последовательное выполнение которых обеспечивает целостность научного анализа. Первый этап посвящен разработке геометрической модели, максимально приближенной к реальной анатомии и физическим свойствам исследуемой ткани. На этой стадии происходит оцифровка анатомии и создание виртуального полигона для испытаний. Второй этап направлен на выявление закономерностей распределения тока и его влияния на каждую из указанных структур. Именно здесь, на основе созданной геометрии, проводятся расчеты электромагнитных полей, позволяющие не просто увидеть пути прохождения тока, но и дать прогноз относительно эффективности и безопасности стимуляции для каждого типа ткани в отдельности, что является конечной целью всего исследовательского процесса.

Мышечная ткань, выступающая главным объектом исследования, является ключевым элементом разработанной модели. Для максимально достоверной имитации ее электрофизиологических характеристик мышечные волокна представлены не сплошным массивом, а в виде сетчатой структуры, имитирующей пучки миофибрилл и межклеточное пространство. Именно мышечная ткань, обладающая высокой проводимостью в областях скопления волокон (по сравнению с жиром или костью), играет основную роль при электрическом воздействии, выступая в качестве проводника и основной мишени для стимуляции. Детализация структуры волокон (их ориентация и плотность) позволяет повысить точность моделирования распределения тока и его воздействия, давая возможность

количественно оценить, как электрическое поле взаимодействует с тканью на микроуровне и какие именно зоны мышцы деполяризуются в первую очередь.

Модель, разработанная в среде Sim4Life [2], представлена на рисунке 1. Визуально она представляет собой многослойную структуру, однако исследователи сознательно пошли на упрощение: кожный покров в модели отсутствует. Это решение продиктовано физическими свойствами тканей: кожа обладает высоким омическим сопротивлением и могла бы искажать картину прохождения тока, если бы мы изучали поверхностные эффекты. Но поскольку основной целью исследования является именно анализ электростимуляции мышечной ткани (глубинной структуры), исключение кожи позволяет «обнажить» объект изучения и направить все вычислительные мощности на точный расчет процессов, происходящих непосредственно в мышечных волокнах под воздействием приложенных электродов.

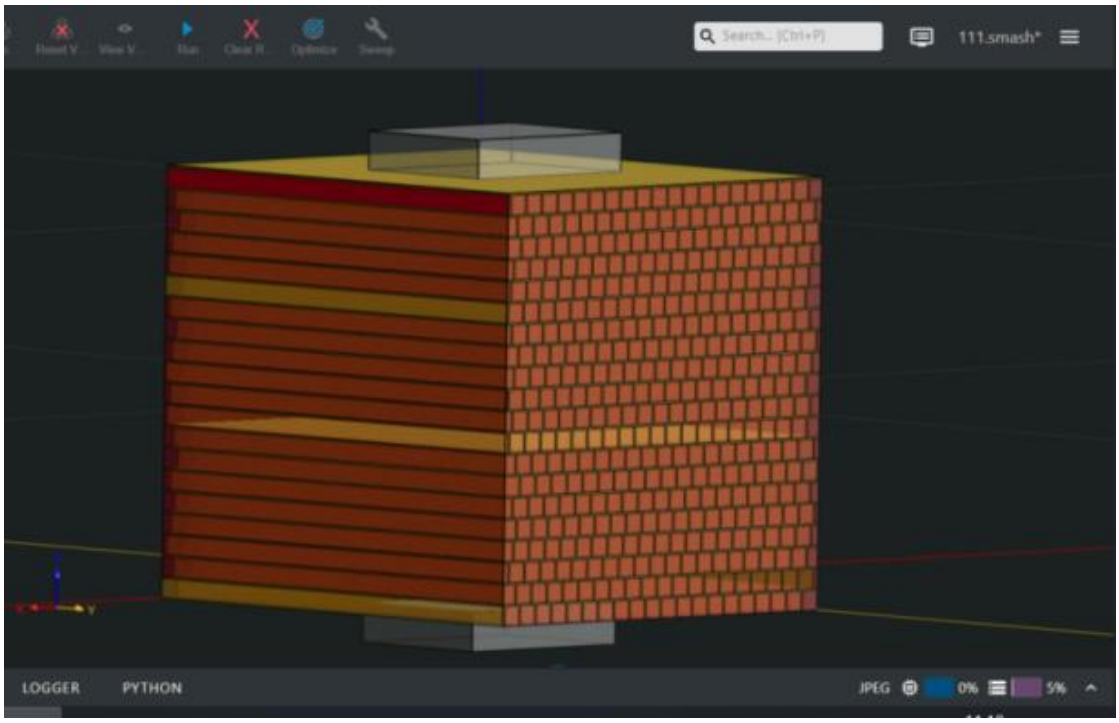


Рисунок 1 – Модель мышечной ткани в среде Sim4Life

Прослойкой между «блоками» мышечной ткани служит фасция, или же соединительная ткань. Введение этого элемента в модель принципиально важно для создания гетерогенной структуры, поскольку фасция, наряду с поддержкой мышечных структур, непосредственно влияет на распространение электрического тока. Ее электрофизиологические свойства заметно отличаются от мышечных: обладая меньшей проводимостью, чем мышцы, она, тем не менее, существенно влияет на распределение тока в областях, прилегающих к мышечным волокнам. Фасция работает как изолятор или ограничитель, создавая границы раздела сред, на которых происходит преломление силовых линий поля. Учет этого слоя позволяет модели избежать излишней идеализации и приблизить виртуальную картину воздействия к реальным процессам, происходящим в сложной архитектуре мягких тканей организма.

В качестве материала электродов была выбрана нержавеющая сталь. При построении виртуальной модели критически важно задавать корректные граничные условия, и выбор материала здесь не случаен. Нержавеющая сталь (прежде всего, медицинские марки 316L, 316LVM) является одним из наиболее изученных и широко применяемых материалов для стимулирующих электродов. Это подтверждается многолетними клиническими исследованиями, где такие электроды имплантировались сотнями и демонстрировали

стабильную работу [3]. Использование в симуляции параметров именно этого материала гарантирует, что результаты моделирования будут релевантны реальной клинической практике, а рассчитанные значения плотности тока и потенциалов на границе раздела «электрод-ткань» будут соответствовать поведению реальных имплантируемых систем.

Симуляция электростимулирующего воздействия проводилась также в среде Sim4Life. В качестве режима был выбран режим воздействия переменным током. Результаты симуляции представлены на рисунке 2.

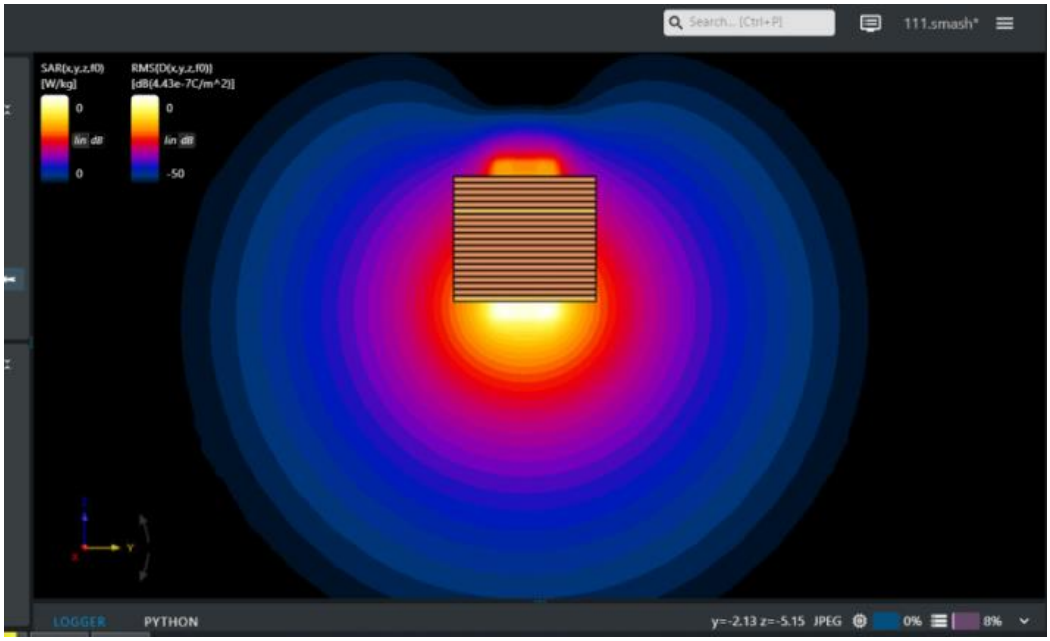


Рисунок 2 – Результат симуляции электросимуляции мышечной ткани в среде Sim4Life

Заключение. Значимость компьютерного моделирования в области исследования электростимуляции мышечных тканей трудно переоценить, особенно на этапе перехода от общих протоколов к персонализированной медицине. Созданная в среде Sim4Life модель, включающая фасцию и мышцы, выступает в роли цифрового полигона, где можно безопасно проводить эксперименты. Она позволяет детально визуализировать и количественно оценить распределение электрических полей в гетерогенной структуре тканей – увидеть, как влияет на ход тока наличие плотной соединительнотканной прослойки, которая часто выступает диэлектрическим барьером. Полученные данные подтверждают, что виртуальные эксперименты являются мощным инструментом для прогнозирования результатов физиотерапевтического воздействия: от подбора оптимальной частоты и силы тока до выбора места наложения электродов. Возможность заранее просчитать сценарий не только повышает эффективность терапии, но и служит целям минимизации рисков, связанных с индивидуальной чувствительностью или патологиями. Таким образом, моделирование становится фундаментом для перехода к персонализированным подходам в лечении, где каждый протокол стимуляции может быть адаптирован под уникальную анатомию и физиологию конкретного человека.

На основании результатов численного моделирования низкочастотного электровоздействия (0,1 Гц) на многослойную модель мышечной ткани установлено, что распределение удельного коэффициента поглощения (SAR) и плотности электрического смещения (D) характеризуется выраженной пространственной неоднородностью с преимущественной локализацией максимумов в зонах непосредственного контакта электродов. Градиентный анализ визуализированных полей подтверждает выраженное затухание интенсивности воздействия по направлению от периферии к центральным слоям.

Обнаруженное рассеивание поля за пределы геометрических границ мышечного блока в сочетании с характерным искажением изолиний на межслойных интерфейсах указывает на значительное влияние послойной структуры на формирование путей протекания тока, что в совокупности определяет преимущественное энерговыделение в приповерхностных структурах и ограничивает глубину эффективного терапевтического воздействия в квазистатическом режиме.

Список литературы

1. *Лосенкова С.О., Погребняк А.В., Морозов Ю.А., Степанова Э.Ф. Компьютерное моделирование как один из современных методов прогнозирования в фармацевтической технологии // Фармация и фармакология. – 2014. – № 6 (7). – С. 105–112.*

2. *Sim4Life: The Premier Simulation Platform [Электронный ресурс] / Zurich Med Tech AG. – Режим доступа: https://sim4life.swiss/, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. – (Дата обращения: 01.03.2026).*

3. *Scheiner A., Mortimer J.T. Design and clinical application of a double helix electrode for functional electrical stimulation // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. – 1994. – Vol. 41, № 5. – P. 425–432. – DOI: 10.1109/10.293217.*

UDC 611.018.62

MUSCLE TISSUE MODEL UNDER ELECTROSTIMULATION

Gladkikh A.P., Sakovich M.S., SalavievA.Ya.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Kamlach P.V. - Cand. of Sci. , Associate Professor
Churakov A.V. – Cand. of Sci., Associate Professor

Annotation. This article examines the computer modeling of human muscle tissue. The study is dedicated to analyzing the process of muscle electrical stimulation. The model includes muscle fibers, fascia, and electrodes. The development was carried out in the Sim4Life software environment. Muscle tissue is represented as a mesh structure of fibers. The fascia is modeled as a layer with reduced electrical conductivity. The electrodes are made of medical-grade stainless steel. The simulation was performed using alternating current exposure. The results demonstrated a non-uniform distribution of the electric field. It was revealed that the depth of effective exposure is limited to the surface layers.

Keywords: muscles, fascia, electrical stimulation, computer model.

УДК 616.8-008.9:681.5

МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ БОЛЕВЫХ СИНДРОМОВ

Стасенко М.И.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Давыдов М.В. – к.т.н., доцент, первый проректор

Аннотация. Разработано мобильное приложение для регистрации болевых синдромов, позволяющее пациентам самостоятельно проводить опросы на смартфоне без необходимости посещения неврологического центра и оперативно передавать данные врачу. Стороной API для врачей реализован сканер печатных опросников для автоматизации ввода результатов и снижения трудозатрат на обработку, а для пациентов – история опросов с аналитикой и статистикой динамики болевых ощущений. Установлено, что использование приложения сокращает время первичного обследования на 85%, повышает точность фиксации симптомов и обеспечивает основу для персонализированного мониторинга. Предложена методика интеграции опросников с оптическим распознаванием (OCR) для врачей и цифровыми формами с аналитикой для пациентов.

Ключевые слова: мобильное приложение, болевые синдромы, опросники боли, медицинская аналитика, неврология

Введение. Широкое распространение хронических болевых синдромов в неврологической практике, сопровождающееся постоянным дискомфортом пациентов, выдвигает на первый план задачу минимизации физических нагрузок при первичном обследовании. Традиционный подход, требующий от человека, испытывающего непрерывную боль, поездки в неврологический центр для минутного опроса, создает значительные трудности, ухудшая состояние пациента и снижая качество мониторинга симптомов [1].

В данной статье автором представлена разработка мобильного приложения, использующего унифицированные опросники для стандартизированной оценки боли непосредственно на смартфоне с оперативной отправкой данных врачу, полностью исключая необходимость передвижения в состоянии боли. API–интерфейс обеспечивает врачам автоматизированный сканер печатных форм с оцифровкой данных, а пациентам – персонализированную историю опросов и аналитику динамики симптомов.

Основная часть. При разработке мобильного приложения для регистрации болевых синдромов необходимо решить следующие три ключевые задачи:

– обеспечить стандартизированную оценку боли с использованием унифицированных опросников непосредственно на смартфоне;

– организовать эффективный обмен данными между пациентами и врачами через API-интерфейс;

– упростить работу врачей за счет интеграции сканера печатных опросов с автоматической оцифровкой данных.

Разработка проводилась в двух взаимодействующих областях: клиентское мобильное приложение для пациентов, реализующее опросники McGill и DN4, историю и аналитику болевых синдромов, и врачебный интерфейс того же приложения с дополнительным модулем сканера печатных форм. Модуль пациентов формирует структурированные данные опросов для экспорта врачу, а врачебный модуль обеспечивает прием результатов с автоматической оцифровкой заполненных форм и обратную связь пациентам [3].

Функционирование приложения контролировалось по завершении каждого цикла пользовательского тестирования. После прохождения полного набора сценариев проводился анализ работоспособности всех модулей с последующей верификацией корректности экспорта данных.

Таким образом, общий функциональный алгоритм работы мобильного приложения представлен следующим образом (рисунок 1).

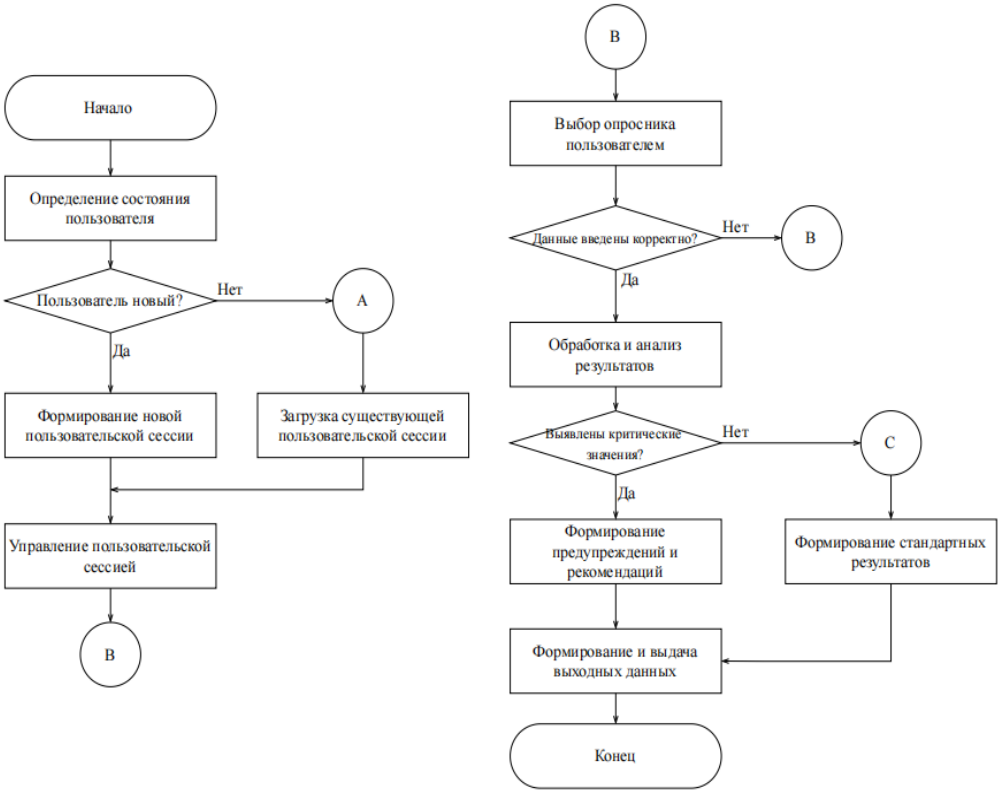


Рисунок 1 – Функциональный алгоритм работы

Полученные результаты подтверждают высокую эффективность предложенной архитектуры приложения, где пользовательский интерфейс опросников связан с API-интерфейсом для надежного обмена данными между пациентами и врачами.

Особое внимание уделено модулю сканера печатных форм, который обеспечивает врачам автоматическую оцифровку традиционных бумажных опросов, существенно сокращая время на первичную обработку данных. Разработанный функциональный блок аналитики позволяет пациентам визуализировать динамику болевых синдромов через графики и тренды, обеспечивая объективный мониторинг эффективности терапии.

Разработанная методика демонстрирует высокую практическую эффективность для оптимизации мониторинга болевых синдромов в условиях амбулаторной неврологической практики [4].

Заключение. Разработано мобильное приложение для регистрации болевых синдромов, позволяющее пациентам заранее формировать полную картину динамики боли на смартфоне. Установлено сохранение объективности оценки симптомов при исключении необходимости постоянного прохождения физического осмотра на приеме у врача. Определена высокая эффективность API-интерфейса с модулем сканера печатных форм для врачей и персонализированной аналитикой для пациентов.

Список литературы

1.*Bouhassira D., Attal N. et al. Comparison of the pain suppressive effects of clinical and experimental painful conditioning stimuli // Brain. – 2003. – Vol. 126. – Pp. 1068-1078.*

2. *Melzack R. The McGill Pain Questionnaire: major properties and scoring methods // Pain. – 1975. – Vol. 1, № 3. – Pp. 277-299.*

3.*Kristjánsdóttir Ó.B. et al. A smartphone app to support self-management of chronic pain // JMIR mHealth and uHealth. – 2019. – Vol. 7, № 8. – e12776.*

4. *Charlson M.E., Pompei P. et al. A new method of classifying prognostic comorbidity in longitudinal studies: development and validation // J. Chronic Dis. – 1987. – Vol. 40, № 5. – Pp. 373-383.*

5. *Bushnell M.C., Čeko M., Low L.A. Cognitive and emotional control of pain and its disruption in chronic pain // Nature Reviews Neuroscience. – 2013. – Vol. 14. – Pp. 502-511.*

UDC 616.8-008.9:681.5

MOBILE APPLICATION FOR PAIN SYNDROME REGISTRATION

Stasenko M.I.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Davydov M.V. – Cand. of Sci., associate professor, first Vice-Rector

Annotation. A mobile application has been developed for pain syndrome registration, enabling patients to independently conduct surveys on smartphones without the need to visit a neurology center and promptly transmit data to physicians. The API side for physicians implements a scanner of printed questionnaires for automated result entry and reduction of processing workload, while for patients it provides survey history with analytics and statistics of pain sensation dynamics. It has been established that the application reduces primary examination time by 85%, improves symptom recording accuracy, and provides a basis for personalized monitoring. A methodology for integrating questionnaires with optical character recognition (OCR) for physicians and digital forms with analytics for patients has been proposed.

Keywords: mobile application, pain syndromes, pain questionnaires, medical analytics, neurology.

УДК 62-529

ПРОГРАММНО-УПРАВЛЯЕМОЕ УСТРОЙСТВО УДАЛЁННОГО МОНИТОРИНГА ХОЛОДИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМ АНАЛИЗОМ ПАРАМЕТРОВ

Бобровский П.Д.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Кудина А.В. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ЭТТ

Аннотация. Разрабатывается программно-управляемое автономное устройство удалённого мониторинга холодильного оборудования, обеспечивающее сбор данных от подключённых датчиков, их интеллектуальный анализ на уровне edge-вычислений, выявление аномалий работы системы и передачу информации для повышения надёжности эксплуатации и эффективности управления холодильными установками.

Ключевые слова: удалённый мониторинг, холодильное оборудование, интернет вещей, IoT, edge-вычисления, интеллектуальный анализ данных, предиктивная диагностика, датчики, промышленный мониторинг, автоматизация.

Введение. Программно-управляемое автономное устройство удалённого мониторинга холодильного оборудования представляет собой самостоятельный аппаратно-программный шлюз, известный как edge-устройство [1]. Оно функционирует в качестве центральной точки для сбора данных, их предварительной обработки и последующей передачи информации, полученной от разнообразных датчиков, подключённых к холодильной системе. Кроме того, это устройство обеспечивает возможность дистанционного управления различными исполнительными компонентами, такими как реле, клапаны и частотные преобразователи.

Основная часть. Устройство спроектировано для установки непосредственно у объекта мониторинга, который может располагаться в серверной комнате, внутри холодильной камеры, в распределительном щите или даже на наружной стене транспортного средства. Оно работает в автономном режиме, независимо от наличия внешнего персонального компьютера, поскольку оснащено собственным процессором, системой энергообеспечения, часами реального времени, а также средствами связи как с облачными сервисами, так и с мобильными операторами. Само устройство не способно измерять какие-либо параметры без подключения внешних датчиков. Все необходимые измерения поступают от подключённых сенсоров, которые могут отслеживать температуру, давление, ток, влажность, факт открытия дверей, утечки фреона и другие важные параметры.

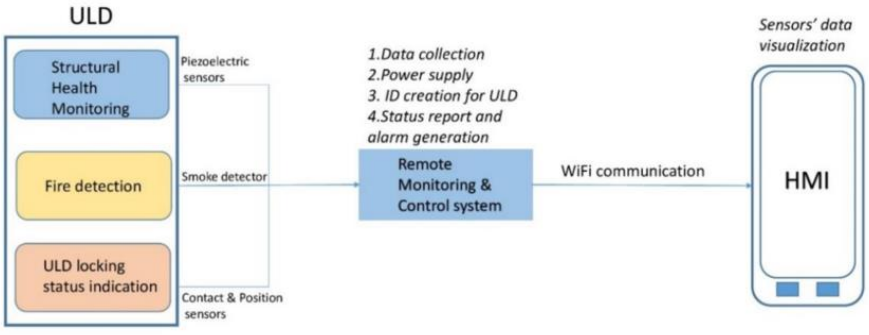


Рисунок 1 – Структурная схема системы удалённого мониторинга

Устройство проектируется модульным и сенсор-агностическим, что позволяет ему быть гибким и универсальным в различных применениях. Стандартный набор интерфейсов обеспечивает подключение разнообразных датчиков и контроллеров, включая цифровые и аналоговые варианты [1]. Для измерения температуры могут быть использованы датчики 1-Wire/DS18B20. Для интеграции с промышленными датчиками и контроллерами предусмотрен интерфейс RS-485, работающий по протоколу Modbus RTU [4]. Кроме того, интерфейсы I²C и SPI позволяют подключать платы расширения, расширяя функциональные возможности устройства. Аналоговые входы поддерживают сигналы 4–20 mA и 0–10 V, что подходит для подключения датчиков давления и уровня. Универсальные GPIO позволяют интегрировать герконы, датчики открытия дверей и датчики протечки. Для управления и контроля коммутации устройство оснащено релейными выходами и опторазвязками. Дополнительно, в зависимости от конфигурации, могут быть доступны интерфейсы CAN или Modbus TCP/IP для взаимодействия с другими устройствами и системами. Для обеспечения связи с удалённым сервером и мобильным приложением устройство поддерживает различные варианты подключения, включая Ethernet, Wi-Fi и сотовые сети (LTE/5G, NB-IoT). На случай потери основного соединения предусмотрен резервный канал связи, который может быть реализован через SMS или LoRaWAN. Блок питания устройства поддерживает технологию PoE (Power over Ethernet), что упрощает его подключение и снижает количество необходимых кабелей. Кроме того, предусмотрена возможность использования автономной батареи или UPS (Uninterruptible Power Supply) для обеспечения непрерывной работы устройства при отключении основного электропитания.

На борту устройства функционирует встроенная операционная система и комплекс специализированных сервисов, обеспечивающих полный цикл обработки данных: сбор данных с датчиков, предварительную фильтрацию для удаления шумов и избыточной информации, проверку целостности для обеспечения достоверности собранных данных, сжатие для оптимизации хранения и передачи, а также шифрование для защиты данных от несанкционированного доступа. Кроме того, на устройстве имеется локальная временная база данных для хранения хронологически упорядоченной информации и продвинутый движок аналитики, позволяющий проводить глубокий анализ собранных данных. Интеллектуальная составляющая системы реализована в виде гибридного решения, объединяющего правила и модели машинного обучения [5]. В частности, используется rule-engine для отслеживания критических порогов и сценариев безопасности, таких как падение давления хладагента или выход температуры за допустимые пределы. Дополнительно применяются модели anomaly-detection и predictive-maintenance, обученные на обширных исторических профилях работы оборудования, что позволяет осуществлять раннее выявление деградации компрессора, утечек или неэффективной работы системы. Устройство также производит корреляционный анализ, сопоставляя изменение температуры с током компрессора, временем открытия дверей и уличной температурой, чтобы точно отличать нормальные сезонные колебания от аномалий. Важно отметить, что интеллектуальный анализ выполняется непосредственно на границе сети (edge), что позволяет устройству быстро детектировать срочные проблемы и формировать информативные, контекстные тревоги [2]. Однако, в соответствии с принятым архитектурным ограничением, устройство предназначено в первую очередь для мониторинга и дистанционного управления, а не для замены решений, принимаемых оператором. Оно генерирует предупреждения, диагностические отчёты и рекомендации, а реальные корректирующие команды выполняются либо по удалённым инструкциям оператора, либо через административные политики, заданные владельцем системы. Хотя существует опция «автоматическое безопасное вмешательство», по умолчанию она остаётся отключенной, подчёркивая приоритет ручного управления и контроля.

Основной функционал и особенности:

1 Сбор и унификация данных от разных типов датчиков (температура, давление, ток, вибрация, влажность, CO_2, положения дверей).

2 Локальная проверка качества данных (фильтрация выбросов, декодирование, верификация сигнатур датчиков), отслеживание «здоровья» сенсоров (контроль обрыва, шумов, калибровочных дрейфов).

3 Edge-аналитика: детекция аномалий, прогноз отказов, выявление трендов энергопотребления и эффективности.

4 Система уведомлений и эскалации: push-уведомления, SMS, e-mail, интеграция с платформами мониторинга (SCADA, CMMS) через REST/HTTPS, MQTT, WebSocket.

5 Дистанционное управление: исполнение команд удалённого оператора (включение/выключение компрессора, перевод в режим энергосбережения, открытие/закрытие клапанов) через безопасный канал; журналация всех действий.

6 Гибкая политика выборки: адаптивные частоты опроса (обычно 1–60 с) и агрегация для передачи, чтобы экономить трафик при стабильной работе и увеличивать детализацию при наличии аномалий.

7 FOTA (firmware-over-the-air) и управление конфигурацией: удалённый деплой обновлений и смена параметров без физического доступа.

8 Интерфейс администратора и API для интеграции в статьи, отчёты, CRM и ERP – готовые графики, CSV/JSON-экспорт, и готовые шаблоны отчетности для соответствия требованиям пищевой и фармацевтической отраслей.

Главная задача устройства – обеспечить непрерывную и надёжную видимость состояния холодильного оборудования в режиме реального времени, минимизировать время простоя и предотвратить потери продукции за счёт раннего обнаружения неисправностей и быстрого оповещения ответственных лиц. В практическом выражении это означает сокращение сроков реакции на аварии и инциденты, оптимизацию энергопотребления посредством детального анализа режимов работы оборудования [3] и предоставления рекомендаций по настройке для достижения максимальной эффективности, а также планирование технического обслуживания на основе реального износа оборудования, а не строго по календарному графику. Кроме того, устройство обеспечивает поддержку соответствия санитарным и регуляторным требованиям благодаря автоматической записи ключевых параметров и формированию хронологически подписываемых логов, что является важным для аудита и соблюдения нормативных требований. Для крупных сетей, таких как супермаркеты, логистические центры и фармацевтические склады, требующие непрерывного поддержания cold-chain, устройство предоставляет масштабируемую и гибкую платформу мониторинга с единым протоколом сбора данных и комплексной аналитикой. Это существенно упрощает управление парком холодильного оборудования, обеспечивая единый взгляд на состояние всех единиц оборудования и позволяя принимать обоснованные решения на основе данных.

В современных условиях эксплуатации холодильного оборудования, особенно в сферах пищевого производства, фармацевтики, логистики и распределенных торговых сетях, приоритетными становятся энергоэффективность, обеспечение контроля температурных режимов и минимизация влияния человеческого фактора. Разрабатываемое устройство отвечает этим вызовам благодаря своей автономной архитектуре и интеллектуальному анализу данных на периферии (edge-аналитике). Оно не просто передает телеметрические данные в облако, а непосредственно анализирует параметры на месте установки. Это особенно важно при нестабильной связи, территориальной разрозненности объектов и высоких требованиях к скорости реакции – критические события регистрируются и обрабатываются мгновенно без задержек на стороне сервера.

Важным преимуществом является адаптивный характер мониторинга. Устройство динамически изменяет частоту опроса датчиков и глубину анализа в зависимости от текущего

состояния системы: в стабильном режиме оно работает в энергосберегающем и трафико-оптимизированном формате, при обнаружении аномалий автоматически повышает детализацию сбора данных и формирует расширенную диагностическую картину. Такой подход позволяет одновременно снижать эксплуатационные расходы и повышать точность прогнозирования отказов. В условиях роста тарифов на электроэнергию и ужесточения нормативных требований к хранению продукции это дает ощутимый экономический эффект.

Оригинальность решения заключается в сочетании трех уровней интеллектуальности в одном автономном устройстве: контроль корректности самих датчиков (обнаружение деградации сенсоров), корреляционный анализ взаимосвязанных параметров холодильного цикла и встроенные предиктивные алгоритмы, ориентированные специально на холодильные процессы. Большинство существующих систем на рынке либо являются простыми регистраторами температуры, либо зависят от облачных вычислений для анализа. В данном случае аналитическое ядро реализовано на уровне устройства, что создает эффект «локального цифрового эксперта», способного формировать контекстные выводы без постоянной зависимости от внешней инфраструктуры.

Отсутствие прямых аналогов обусловлено комплексной концепцией: устройство разрабатывается не как датчик, не как универсальный промышленный контроллер и не как облачная платформа, а как специализированный интеллектуальный узел мониторинга холодильного оборудования с возможностью масштабирования в распределенную сеть. Уникальность достигается за счет модульности интерфейсов подключения, встроенной системы самодиагностики, гибридной аналитической модели и независимой автономной работы. Такая комбинация функционала формирует новый класс решений на стыке технологий Интернета вещей (IoT), предиктивной диагностики и отраслевой специализации, что делает устройство технологически оригинальным для современного этапа развития рынка.

Устройство проектируется с учётом простоты внедрения, что включает в себя настраиваемые профили подключения различных типов датчиков для сбора точных данных, гибкие режимы безопасности для защиты передаваемой информации, а также локальные графические интерфейсы пользователя (GUI) и LED-индикаторы для первичной диагностики и устранения неисправностей непосредственно на месте установки устройства. Кроме того, в комплекте поставки предусмотрены подробные инструкции по калибровке и поверке датчиков, что обеспечивает их точную и надежную работу на протяжении всего срока службы. В сети допускается групповая работа устройств, что позволяет осуществлять кластеризацию данных для формирования региональных сводок и более эффективного анализа информации. Ключевыми эксплуатационными требованиями к устройству являются точная синхронизация времени с использованием протоколов NTP или встроенных часов реального времени (RTC), резервирование каналов связи для обеспечения бесперебойной работы, надежная защита от несанкционированного доступа с помощью таких технологий, как безопасная загрузка (secure boot), протокол TLS и шифрование данных при передаче по протоколам REST и MQTT. Помимо этого, устройство должно быть способно функционировать в жестких температурных и вибрационных условиях, что делает его пригодным для использования в различных промышленных и сложных окружающих средах.

Разрабатываемое программно-управляемое устройство удалённого мониторинга холодильного оборудования представляет собой специализированное автономное решение нового поколения, ориентированное на интеллектуальный анализ параметров и повышение надёжности эксплуатации. Его архитектура объединяет модульный сбор данных от подключаемых датчиков, локальную edge-аналитику, систему самодиагностики и защищённую удалённую связь, что позволяет обеспечить непрерывный контроль состояния оборудования без постоянной зависимости от облачной инфраструктуры.

Практическая ценность устройства выражается в снижении рисков аварий, минимизации потерь продукции, оптимизации энергопотребления и переходе к предиктивному обслуживанию. Интеллектуальный анализ взаимосвязанных параметров холодильного цикла формирует качественно новый уровень мониторинга – от простой фиксации показателей к интерпретации и прогнозированию.

Заключение. Таким образом, предлагаемое решение формирует самостоятельный класс специализированных интеллектуальных устройств для холодильной отрасли, сочетая автономность, аналитическую глубину и отраслевую направленность. Это делает его перспективной платформой для цифровизации и модернизации систем холодоснабжения в современных условиях.

Список литературы

1 *Баранов, А. В. Применение технологий Интернета вещей в системах промышленного мониторинга / А. В. Баранов, И. С. Кузнецов // Информационные технологии. – 2021. – № 7. – С. 15–22.*

2 *Громов, В. А. Edge-вычисления в распределённых системах сбора и обработки данных / В. А. Громов, П. Н. Сидоров // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2022. – № 5. – С. 3–11.*

3 *Чернышев, К. В. Методы повышения энергоэффективности холодильных установок на основе интеллектуального анализа параметров / К. В. Чернышев, А. С. Панов // Холодильная техника. – 2022. – № 3. – С. 34–40.*

4 *Кравченко, Д. И. Применение протоколов MQTT и Modbus в системах удалённого мониторинга оборудования / Д. И. Кравченко, О. Н. Матвеев // Электронные средства и системы управления. – 2020. – № 1. – С. 45–52.*

5 *Широков, П. А. Интеллектуальные системы технической диагностики и мониторинга: современные подходы и перспективы развития / П. А. Широков, В. Н. Григорьев // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2021. – Т. 64, № 9. – С. 731–740*

UDC 62-529

SOFTWARE-CONTROLLED REMOTE MONITORING DEVICE FOR REFRIGERATING EQUIPMENT WITH INTELLIGENT PARAMETER ANALYSIS

Bobrovsky P.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics
Minsk, Republic of Belarus

Kudina A. V. – Cand. of Sci, Associate Professor

Annotation. A software-controlled autonomous device for remote monitoring of refrigeration equipment is being developed. This device collects data from connected sensors, performs intelligent analysis at the edge computing level, detects system anomalies, and transmits information to improve the reliability and efficiency of refrigeration systems.

Keywords. Remote monitoring, refrigeration equipment, Internet of Things, IoT, edge computing, intelligent data analysis, predictive diagnostics, sensors, industrial monitoring, and automation.

УДК 615.47:615.844.5

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА НИКЕЛЕВЫХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ В УСЛОВИЯХ НЕСТАЦИОНАРНОГО ЭЛЕКТРОЛИЗА

Ордо С.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Кузьмар И.И – к.т.н., заведующая НИЛ2.2 НИЧ

Аннотация. В ходе проведения научных исследований установлены зависимости влияния параметров нестационарных режимов электролиза на функциональные свойства поликомпозиционных никелевых покрытий. Покрытия, сформированные с использованием импульсных униполярного и реверсированного токов, превосходят по микротвердости осадки, полученные на постоянном токе.

Ключевые слова: электрохимическое покрытие, разрыв, паяемость, контактное электросопротивление.

Введение. Никелевые покрытия обеспечивают высокую коррозионную стойкость, твердость и износостойкость, защищая металл от агрессивных сред и механических повреждений. Также никелирование позволяет покрыть деталь любой конфигурации, что способствует широкому распространению этого покрытия. Проведенный анализ научно-технической и патентной литературы позволил выделить основные направления для возможного эффективного управления элементным составом и твердостью композиционных покрытий [1]. Одним из методов является способ, основанный на изменении электрического режима питания ванны во время электролиза (нестационарный электролиз, и, в частности, как его разновидность, программноуправляемый электролиз). Появляется возможность в широких пределах регулировать качество получаемых систем металлизации, изменяя ток по определенным программам. При этом происходит послойного формирование осадка, что позволит сочетать пластичность, необходимую твердость и наполненность дисперсной фазой. В работе рассмотрено влияние условий электрохимического осаждения на функциональные свойства осадков [2].

Основная часть. Для электроосаждения использовали разработанный в БГУИР программно-аппаратный комплекс для исследовательских и опытно-промышленных целей в состав которого входят высокочастотный источник питания импульсно-реверсным током ИП 24-2, позволяющий формировать в гальванической ванне импульсы тока положительной и отрицательной полярности, параметры которых задаются при помощи управляющего компьютера. Максимальный ток нагрузки источника питания ИП 24-2 составляет 2А; частота импульсов может задаваться от 1 до 10000 Гц. При исследованиях частота импульсного тока изменялась от 10 до 1000 Гц, амплитудная плотность тока – от 1 до 10 А/дм^2, длительность импульса и паузы – от 0,1 до 700 мс.

Для перемешивания электролита-суспензии, обеспечения однородности и поддержания частиц во взвешенном состоянии, использовали магнитную мешалку – оборудование бесконтактного действия, предназначенное для быстрого и безопасного перемешивания жидких веществ, в результате чего получаются растворы, эмульсии, суспензии (рисунок 1). В лабораторный стакан помещали магнитный стержень со специальным покрытием из тефлона или полиэтилена, где магнитное поле приводит его в действие, создавая вихревой поток, смешивающий жидкость. Магнитная мешалка с подогревом оснащена нагревающей пластиной, размещенной над электромагнитом. Модели с подогревом способны обеспечить степень нагрева смешиваемого вещества до 500 °С. Преимуществами такого метода перемешивания являются бесшумная работа и компактность аппарата; закрытая емкость,

отсутствие смешивающих деталей гарантирует безопасную работу с токсичными химикатами, исключая их разбрызгивание и вдыхание образующихся испарений; функция подогрева расширяет возможности работы с разными веществами.

Из сульфатного электролита никелирования, модифицированного различными фракциями углерода, получены электрохимические покрытия с использованием постоянного тока при различных плотностях тока и температуре электролита, а также методом нестационарного электролиза при частоте поляризующего тока f = 1-100 Гц и различных значениях длительности импульсов $\tau_{имп}$ = 3-300 мс и длительности паузы $\tau_{паузы}$ = 7-700мс для униполярного импульсного тока, и длительности прямого импульса $\tau_{пр}$ = 0,6-300 мс и длительности обратного импульса $\tau_{обр}$ = 0,06-100 мс для реверсированного тока. Результаты исследований для каждого образца представлены в табице 1.

Таблица 1 - Результаты исследований для каждого образца

№	m1, г	m2, г	Δm, г	S, дм^2	t, мин	I, А	ВТ, %	d, мкм	ϑ, мкм/мин
Р1	2,6433	2,6614	0,0181	0,042	10	0,105	94,46	4,84	0,484
Р2	2,6069	2,6223	0,0154	0,038	10	0,190	44,41	4,55	0,455
Р3	2,393	2,408	0,015	0,036	10	0,181	45,54	4,67	0,467
Р4	2,5584	2,5707	0,0123	0,038	10	0,285	23,65	3,64	0,364
Р5	2,5643	2,5804	0,0161	0,038	10	0,190	46,43	4,76	0,476
Р6	2,409	2,4238	0,0148	0,035	10	0,175	46,34	4,73	0,473
Р7	2,489	2,504	0,0149	0,036	10	0,105	77,99	4,64	0,464
Р8	2,621	2,6381	0,0171	0,046	10	0,385	24,34	4,16	0,416
Р9	2,604	2,617	0,0128	0,019	10	0,299	23,44	7,61	0,761
Р10	2,426	2,441	0,0147	0,040	10	0,333	24,19	4,13	0,413
Р11	2,538	2,6144	0,0762	0,041	50	0,103	37,61	20,88	0,418
Р12	2,491	2,5698	0,0786	0,042	50	0,105	54,69	21,03	0,421
Р13	2,581	2,6511	0,0697	0,042	50	0,105	36,37	18,65	0,373
Р14	2,607	2,6848	0,0778	0,042	50	0,105	54,13	20,81	0,416
Р15	2,5811	2,6599	0,0788	0,042	50	0,105	54,83	21,08	0,422
Р16	2,6853	2,7636	0,0783	0,042	50	0,210	32,69	20,95	0,419
Р17	2,5123	2,587	0,0747	0,040	50	0,200	40,93	20,98	0,420
Р18	2,5599	2,6621	0,1022	0,040	50	0,100	67,20	28,71	0,574

Для измерения микротвердости в проведенных исследованиях применялся микротвердомер Leica VMHT MOT (Knoop). Оценка микротвердости на приборе основана на измерении величины диагонали оттиска, получаемого от вдавливания с определенной нагрузкой алмазной пирамиды в исследуемый материал. Нагрузку на алмазную пирамиду можно было изменять от 1 до 2000 гр. Микротвердость покрытий в зависимости от условий электроосаждения изменяется от 7477 МПа при электроосаждении на постоянном токе до 3350-5917 МПа на импульсном, 3833-7543 МПа на реверсированном и 4946,7 -8096,7 МПа при использовании программируемых токов.

Для измерения износостойкости в проведенных исследованиях применялся микротрибометр МТ 4.05 (рисунок 1). Параметры прибора: контролируемая нормальная нагрузка 10 мН – 1 Н; скорость скольжения 0,1 − 10мм/с. Для проведения триботехнических испытаний использовалась схема сфера-плоскость, позволяющая наиболее точно рассчитать площадь пятна контакта и величины контактного давления, а также исключить неизбежное влияние наклона индентора и пластины на геометрию контакта.

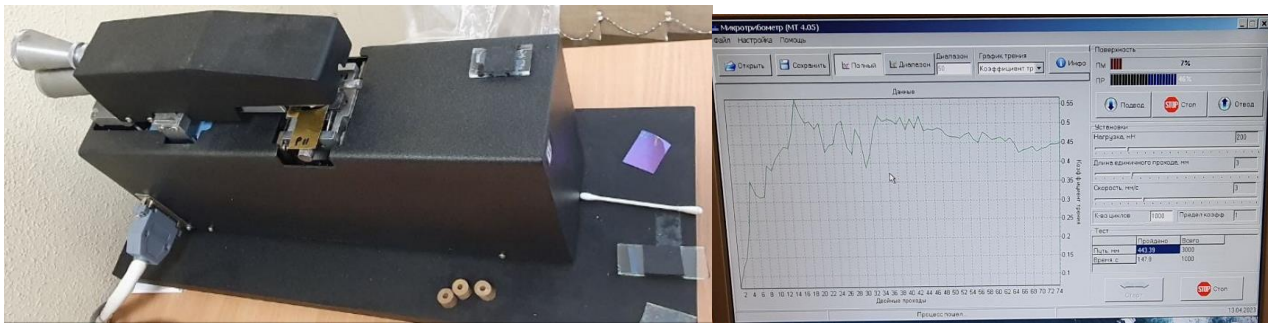


Рисунок 1 – Микротрибометр МТ 4.05 и окно управляющей программы

Покрытия наносили на латунную пластину. Передача, прием и обработка данных осуществляется с помощью персонального компьютера. Программное обеспечение позволяет устанавливать скорость движения образца, величину нормальной нагрузки и длину трека, вести запись величины силы и коэффициента трения. Для каждого образца проводились измерения как вдоль линии прокатки так и поперек.

Основываясь на экспериментальных данных установили, что осаждение с никелевой матрицей ультрадисперсных алмазов на различных токах приводит к варьированию величины объемного износа получаемых покрытий. Износостойкость КЭП резко возрастает с увеличением содержания дисперсной фазы в электролите, обеспечивая высокие антифрикционные свойства (таблица 4.4). Во время проведения исследований на износостойкость получены результаты коэффициента трения k: Р10 – k = 0.75, Р11 – k = 0.45, Р12 –k = 0.16. Использование комбинированных токов позволяет уменьшить коэффициент трения, что позволяет придать никелевому покрытию большую износостойкость. Коэффициент трения варьируется от k=0,53 при электроосаждении на постоянном токе до k=0,44-0,77 на импульсном, k=0,26-0,33 на реверсированном и k=0,14-0,43 на программируемых токах.

Коррозионную стойкость покрытий оценивали по данным электрохимических измерений коррозионных токов и скоростей саморастворения, Толщина исследуемых покрытий, нанесенных на латунные подложки 6,0 или 30,0 мкм. Скорость саморастворения металла измеряли гравиметрическим методом. Образец с осажденным покрытием промывали в дистиллированной воде, тщательно высушивали, а затем взвешивали, После чего помещали его в агрессивную среду (раствор NaCl 30 г/л) на 8 суток. Прокоррозировавшие образцы извлекали из раствора, промывали дистиллированной водой, тщательно высушивали и снова взвешивали. Исследуемые образцы визуально не имеют очагов поражения коррозии (рисунок 4.14). Варьирование параметрами поляризующего тока позволило получить покрытия без видимых очагов коррозии, а скорость коррозии снизилась в 1,2..2,8 раза.

Заключение. Исследованы функциональные свойства поликомпозиционных никелевых покрытий и установлены зависимости изменения скорости осаждения, микротвердости, износостойкости и скорости коррозии осадков от параметров поляризующего токаУстановлено, что применение нестационарных режимов электролиза позволяет управлять структурой и свойствами поликомпозиционных никелевых покрытий. По сравнению с покрытиями, осажденными на постоянном токе, они обладают более высокой микротвердостью, гладкой мелкозернистой поверхностью и улучшенными электрическими характеристиками. Формирование многослойных структур с чередующимися микрослоями компенсирует пористость - основной недостаток гальванического никеля. Таким образом, нестационарный электролиз является эффективным методом получения покрытий с заданными улучшенными свойствами для радиоэлектронной промышленности.

Список литературы

1. *Импульсное электроосаждение и свойства композиционных покрытий никель-оксид графена / В. Н. Целуйкин, [и др.] // Москва: Физикохимия поверхности и защита материалов, 2023. Т. 59, № 3. С. 305-309.*

2. *Шушков, Р.В. Влияние режима электролиза на свойства никелевых покрытий / Р.В. Шушков, Н.Д. Соловьева // Москва: Успехи в химии и химической технологии, 2007. Т. 21, № 10. С. 29-33..*

UDC 615.47:615.844.5

INFLUENCE OF PROGRAMMABLE ELECTROLYSIS MODES ON FUNCTIONAL PROPERTIES POLYCOMPOSITE NICKEL COATINGS

Kot P.V., Ordo S.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Kuzmar I.I. – Cand. of Sci., Head of the Research Laboratory of R&D Department

Annotation. In the course of scientific research, the dependences of the influence of the parameters of programmable electrolysis modes on the functional properties of polycomposite nickel coatings have been established. Coatings formed using pulsed unipolar and reversed currents are superior in micro-stability to precipitation obtained with direct current.

Keywords: electrochemical coating, rupture, solderability, contact electrical resistance.

УДК 616-78

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ДЫХАНИЯ

Жуковский Н.Е.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Ревинская И.И – ст. преподаватель кафедры ЭТТ

Аннотация. В работе рассматривается разработка веб-приложения для автоматизированной функциональной диагностики дыхания на основе бесконтактного анализа видеопотока. Исследование выполнено путем проектирования и реализации клиент-серверной архитектуры, включающей модули аутентификации, управления пациентами, работы с видеофайлами и анализа дыхательных движений. Анализ проведён на основе применения алгоритмов компьютерного зрения и методов цифровой обработки сигналов для выделения паттернов дыхания. Предложенный подход позволяет визуализировать процесс дыхания и на основе полученных данных движений грудной клетки оценить временные характеристики дыхания и косвенно определить дыхательные объемы.

Ключевые слова: функциональная диагностика дыхания, визуализация дыхания, веб-приложение, компьютерное зрение, анализ видеопотока, клиент-серверная архитектура, FastAPI, цифровая обработка сигналов.

Введение. Функция внешнего дыхания служит важнейшим индикатором состояния дыхательной системы человека. Распространенность респираторных заболеваний, таких как бронхиальная астма и ХОБЛ, требует не только точной первичной диагностики, но и постоянного динамического наблюдения [1]. Традиционные методы, такие как спирометрия, несмотря на свою надежность, требуют дорогостоящего оборудования и активного участия пациента, что ограничивает их применение для массовых скрининговых исследований [2]. В настоящее время актуальными и перспективными являются методы, основанные на бесконтактном анализе дыхательных движений грудной клетки [3].

Целью работы являлась разработка веб-приложения для визуализации процесса дыхания на основе бесконтактного анализа видеопотока с камеры. Приложение является кроссплатформенным, что позволяет работать с ним из любого современного браузера без установки дополнительного ПО.

Основная часть. В рамках исследования была спроектирована трехуровневая архитектура системы «клиент-сервер». Серверная часть реализована на асинхронном фреймворке *FastAPI* (*Python*) с использованием *JWT*-аутентификации для разграничения прав доступа врачей [4]. Выбор *FastAPI* обусловлен его высокой производительностью, наличием автоматической генерации документации и встроенной поддержкой асинхронных операций, что критически важно для задач обработки видеоданных.

Для хранения медицинских данных и метаданных видеофайлов используется *PostgreSQL* – реляционная система управления базами данных, соответствующая принципам *ACID*, что гарантирует целостность медицинской информации [5]. Архитектура базы данных включает три основные таблицы: *users* (учетные данные врачей), *patients* (характеристики пациентов) и *patient_videos* (метаданные видеофайлов). Для хранения видеофайлов используется гибридный подход: метаданные хранятся в *PostgreSQL*, а сами файлы сохраняются в файловой системе сервера в иерархической структуре папок.

Система безопасности реализована как многоуровневая архитектура, включающая аутентификацию по *JWT*-токенам (с разделением на *access* и *refresh* токены), валидацию загружаемых файлов по типу контента и размеру (максимум 500 МБ), проверку прав доступа для каждого запроса [6]. Все операции включают проверку принадлежности текущему авторизованному врачу, что предотвращает несанкционированный доступ к медицинским данным.

Модуль управления пациентами реализует полный *CRUD*-функционал для работы с медицинскими картами. Врач может создавать новые карты пациентов с указанием персональных данных (имя, фамилия, возраст, пол), антропометрических показателей (рост, вес) и информации о курении. Система автоматически рассчитывает индекс массы тела (ИМТ) на основе введенных данных. Интерфейс отображает список пациентов в виде карточек с основной информацией и предоставляет поиск для быстрого доступа к нужной карте.

Клиентская часть разработана на нативном *JavaScript*, *HTML5* и *CSS3*, что минимизирует требования к ресурсам. Интерфейс предоставляет врачам инструменты для аутентификации, управления картотекой пациентов, загрузки видеофайлов с записью дыхательных движений и просмотра результатов анализа.

Основу аналитического ядра системы составляет алгоритм обработки видеопотока, реализованный на языке *Python* с использованием библиотек компьютерного зрения *OpenCV* и машинного обучения *scikit-learn*. Процесс анализа включает несколько последовательных этапов. Первым этапом является сегментация человека на видео с использованием алгоритма кластеризации *K-Means*. Исходный кадр преобразуется из цветового пространства *BGR* в *LAB*, которое обеспечивает лучшую инвариантность к изменениям освещения. Использование *BGR* в качестве исходного формата обусловлено стандартами библиотеки *OpenCV*, однако прямое применение этого пространства для анализа малоэффективно из-за сильной корреляции каналов и чувствительности к яркости. Именно поэтому выполняется преобразование в цветовое пространство *LAB*. В отличие от *BGR*, пространство *LAB* приближено к человеческому восприятию цвета и разделяет информацию об интенсивности и цветовых компонентах. Благодаря этому алгоритм кластеризации *K-Means* получает возможность более устойчиво группировать пиксели, ориентируясь на цветовые характеристики объекта, что позволяет эффективнее отделить фигуру человека от фона даже при неоднородном освещении.

Полученная бинарная маска подвергается морфологической обработке: операция открытия для удаления шумов и операция закрытия для заполнения небольших пробелов внутри области человека (рисунок 1).

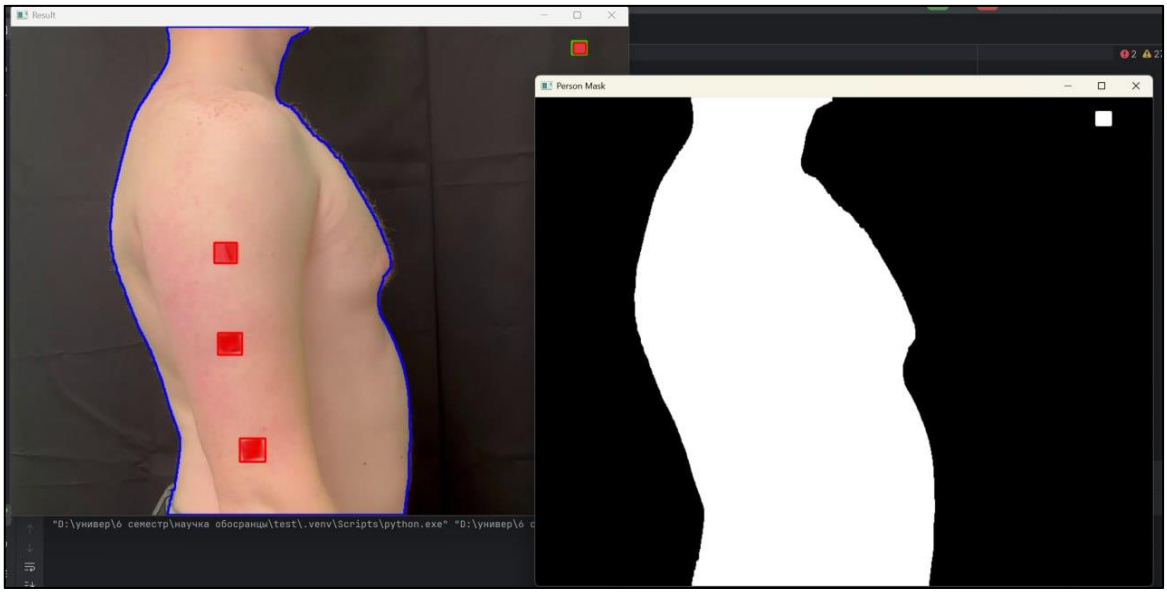


Рисунок 1 – Выделение маски

Вторым этапом является обнаружение цветовых маркеров на теле пациента. Для обеспечения инвариантности к интенсивности освещения используется цветовое пространство *HSV [7]*. Для каждого поддерживаемого цвета (красный, зеленый, синий) в системе заданы диапазоны нижних и верхних границ. Для красного цвета, ввиду его

расположения на границе цветового круга, применяются два диапазона: 0–10 и 170–180 градусов. После применения пороговых фильтров и морфологической обработки выделенные контуры анализируются: отбрасываются контуры площадью менее 25 пикселей, а для оставшихся вычисляется соотношение сторон, которое должно находиться в диапазоне 0,7–1,4, что соответствует квадратной форме маркера.

Для устойчивого отслеживания маркеров между кадрами реализован трекер, использующий алгоритм сопоставления на основе евклидова расстояния. Каждому обнаруженному маркеру присваивается уникальный идентификатор. В последующих кадрах для каждого нового маркера вычисляется расстояние до всех активных маркеров из предыдущих кадров, и выбирается ближайший, если расстояние не превышает порогового значения (30 пикселей). Это позволяет отслеживать перемещение маркеров при небольших движениях пациента и обеспечивает временную согласованность данных.

Модуль анализа дыхания предоставляет возможность запуска автоматизированного анализа загруженных видео. В интерфейсе настройки анализа врач выбирает цвет маркера (красный, зеленый, синий) и указывает его физический размер в миллиметрах. После запуска система отображает прогресс выполнения анализа в реальном времени. По завершении формируется детальный отчет, включающий: частоту дыхания, амплитуду дыхательных движений, графики дыхательных движений для каждой линии, текстовое заключение с классификацией типа дыхания (нормальное, тахипноэ, брадипноэ). Все результаты сохраняются в истории анализов пациента и доступны для повторного просмотра (рисунок 2).

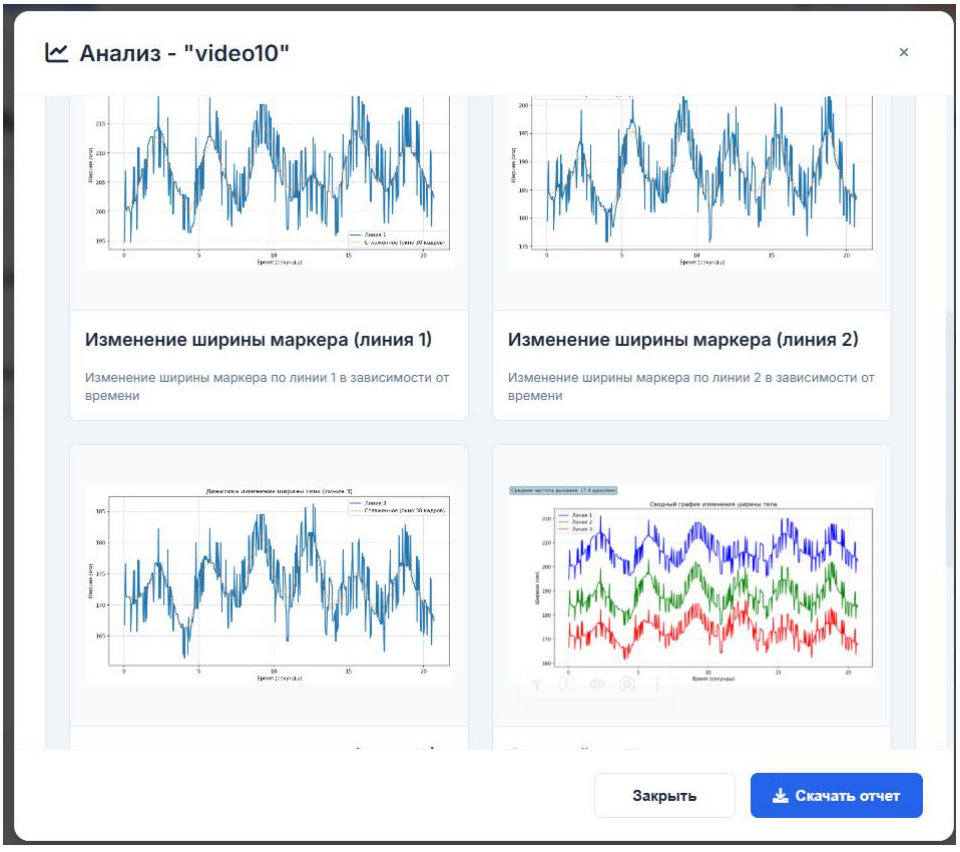


Рисунок 2 – Модальное окно графического анализа

Заключение. Практическая значимость работы заключается в создании инструмента, который позволяет провести оценку количественных показателей дыхательной функции. В результате разработки получено полностью функционирующее веб-приложение для бесконтактной диагностики дыхания, обеспечивающее автоматическое выделение контура пациента с помощью алгоритма *K-Means* и точное отслеживание дыхательных движений посредством детекции цветовых маркеров. Система вычисляет ключевые клинические

параметры: частоту дыхания через спектральный анализ Фурье и амплитуду, предоставляя врачу структурированные результаты в личном кабинете пациента.

Теоретическая ценность исследования состоит в демонстрации эффективности применения методов компьютерного зрения (алгоритма кластеризации *K-Means*) и цифровой обработки сигналов для решения задач медицинской диагностики. Перспективы дальнейшего применения приложения связаны с возможностью использования разработанного приложения как инструмента экспресс-диагностики дыхания.

Список литературы

1. *Всемирная организация здравоохранения. Хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ) –[Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/chronic-obstructive-pulmonary-disease-(copd).*

2. *Standardization of Spirometry 2019. An Official American Thoracic Society and European Respiratory Society Technical Statement – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.atsjournals.org/doi/10.1164/rccm.201908-1590ST*

3. *Revinskaya, I. I. Hardware-software complex for studying of breathing volume parameters = Аппаратно-программный комплекс для исследования объемных параметров дыхания / I. I. Revinskaya, P. V. Kamlach, Y. I. Liashchevich // Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-technical series = Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя фізіка-тэхнічных навук. – 2023. – Vol. 68, no. 2. – P. 149–155.*

4. FastAPI Documentation – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://fastapi.tiangolo.com/tutorial/

5. *PostgreSQL Documentation – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.postgresql.org/docs/current/tutorial-transactions.html*

6. *OWASP Cross Site Scripting – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cheatsheetseries.owasp.org/cheatsheets/css*

7. *OpenCV. OpenCV Documentation [Электронный ресурс]. – 2025. – Режим доступа: https://docs.opencv.org.*

UDC 616-78

WEB APPLICATION FOR FUNCTIONAL DIAGNOSTICS OF RESPIRATION

Zhukovskiy N.E.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Revinskaya I.I. – Senior Lecturer at the Department of the department of ETT

Annotation. This work presents the development of a web application for automated functional diagnostics of respiration based on contactless video stream analysis. The study was carried out by designing and implementing a client-server architecture, which includes modules for authentication, patient management, video file handling, and respiratory motion analysis. The analysis was conducted using computer vision algorithms and digital signal processing methods to identify breathing patterns. The proposed approach makes it possible to visualize the breathing process and, based on the obtained data on chest movements, assess the temporal characteristics of respiration and indirectly determine respiratory volumes.

Keywords. functional respiratory diagnostics, breathing visualization, web application, computer vision, video stream analysis, client-server architecture, FastAPI, digital signal processing

УДК 534.8

ИНТЕНСИВНОСТЬ СУБГАРМОНИКИ $F_0/2$ В СПЕКТРЕ КАВИТАЦИОННОГО ШУМА ПРИ КОЛЛЕКТИВНЫХ КОЛЕБАНИЯХ ПУЗЫРЬКОВ В КАВИТАЦИОННОЙ ОБЛАСТИ

Курлюк Е.А., Лебедь А.А., Бойдич А.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Дежкунов Н.В. – к.т.н., доцент, заведующий НИЛ 5.2

Аннотация. Рассматривается формирование субгармонической компоненты $F_0/2$ в спектре кавитационного шума. На основе численного моделирования акустического сигнала с импульсными возмущениями, соответствующими схлопываниям пузырьков, исследована зависимость амплитуды пика $F_0/2$ в спектре от амплитуды импульса на двойной частоте поля. Показано, что рост интенсивности субгармоники носит нелинейный характер.

Ключевые слова: кавитация, кавитационный шум, спектральный анализ, моделирование

Введение. При развитии кавитации в акустическом поле в жидкости формируется сложный акустический отклик, обозначаемый как кавитационный шум (КШ). Этот сигнал обусловлен суммарным акустическим воздействием кавитационных пузырьков, совершающих радиальные пульсации, перемещающихся в жидкости и испытывающих нестационарное схлопывание. В отличие от регулярного гармонического поля, возбуждающего кавитацию, кавитационный шум носит выраженный нестационарный и статистический характер. Экспериментальные и теоретические исследования показывают, что параметры кавитационного шума чувствительны к состоянию кавитационной области и режимам динамики пузырьков, включая степень синхронности их пульсаций и интенсивность импульсных процессов [1, 2]. Поэтому спектральный анализ кавитационного шума представляет собой эффективный метод исследования кавитации и оценки её активности.

Основная часть. Спектр КШ обычно содержит основную частоту возбуждающего ультразвукового поля, гармонические и субгармонические компоненты, комбинационные частоты и непрерывную составляющую. Их наличие и относительная интенсивность определяются режимом кавитации, концентрацией и размерами пузырьков, а также условиями распространения акустических волн в жидкости [3]. При этом механизмы формирования отдельных спектральных компонент кавитационного шума остаются недостаточно исследованными, что осложняет интерпретацию спектров и использование их параметров для количественной оценки состояния кавитационной области [4].

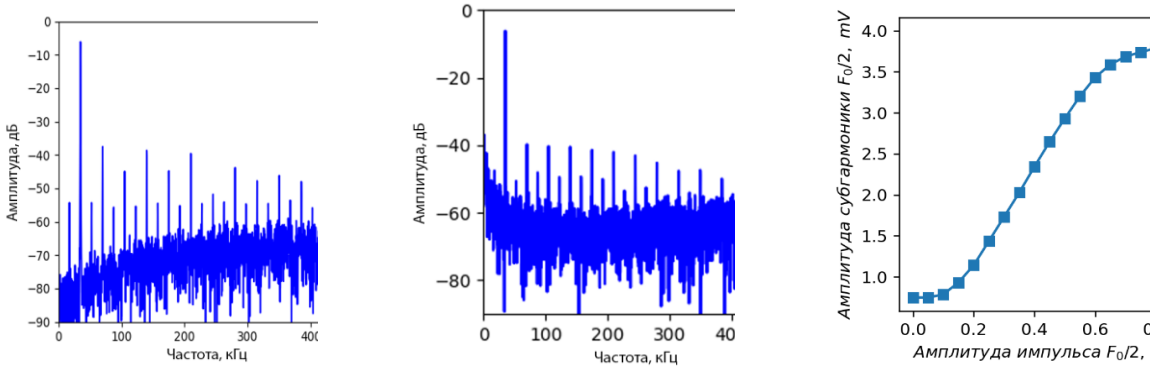
В настоящей работе рассматривается зависимость субгармонической компоненты спектре кавитационного шума от амплитуды коллективных колебаний кавитационной области. Для анализа используется численное моделирование акустического сигнала, регистрируемого в кавитационной области. Подробное описание алгоритма моделирования и его программной реализации приведено в работах, посвящённых анализу механизмов генерирования спектральных компонент КШ [5-7].

В модели акустический сигнал формируется на основе синусоидального ультразвукового поля с амплитудой давления P_0, периодом T_0, соответствующего докавитационному режиму. Воздействие кавитационных пузырьков учитывается введением импульсных возмущений давления с периодом $T_И$, соответствующих моментам их схлопывания. В простейшем случае такие импульсы повторяются с периодом ультразвукового колебания и приводят к появлению в спектре основной частоты F_0 и её гармоник [6]. Для приближения модели к реальным условиям учитываются стохастические отклонения параметров импульсов. В сигнал вводятся случайные смещения их фазового положения и амплитуды, отражающие асинхронность пульсаций пузырьков и статистический разброс условий их коллапса. Ранее показано, что

временная рассинхронизация импульсов приводит к формированию непрерывной составляющей спектра кавитационного шума [6, 7]. В алгоритме также учитываются нелинейные искажения сигнала, влияющие на распределение энергии между спектральными компонентами, включая субгармонику $F_0/2$. Полученный акустический сигнал анализируется в частотной области с использованием быстрого преобразования Фурье, что позволяет определить спектральную структуру кавитационного шума.

В ряде работ интенсивность субгармонической компоненты $F_0/2$ используется как один из параметров оценки состояния кавитационной области. Один из механизмов появления субгармоники в спектре КШ связан с переходом кавитационной системы в режим коллективной динамики пузырьков. В условиях высокой концентрации пузырьков кавитационная область реагирует на акустическое воздействие как единая система, формируя периодическую перестройку акустического сигнала. При этом схлопывания отдельных пузырьков остаются частично рассинхронизированными из-за разброса их радиусов и условий коллапса. Импульсы, создаваемые пузырьками, накладываются с временными и амплитудными отклонениями, что приводит к частичному размыванию дискретной структуры спектра и формированию непрерывной составляющей кавитационного шума.

Для моделирования данного режима дополнительно в сигнал вводились стохастические отклонения параметров импульсов. Амплитуда каждого импульса случайным образом изменялась в пределах $\Delta P = \pm 0{,}2P_0$, где указанная величина задаёт максимально возможное отклонение от среднего значения. Момент возникновения импульса также случайно смещался относительно его среднего положения в пределах $\Delta t = \pm 0{,}05T_{\text{И}}$, где $T_{\text{И}}$ – период ультразвукового сигнала. Таким образом, время появления каждого импульса варьировалось в заданном интервале вокруг соответствующей фазы ультразвукового периода, что моделирует асинхронность схлопывания пузырьков. На рисунке 1а, 1б представлены соответствующие спектры сигнала. Коллективная периодичность сохраняется в виде дискретных компонент спектра, однако временная рассинхронизация импульсов приводит к усилению непрерывной составляющей. При добавлении розового шума (рисунок 1б) возрастает мощность низкочастотной части непрерывной составляющей и усиливается широкополосный фон, что соответствует экспериментально наблюдаемому перераспределению спектральной мощности при развитой стохастичности кавитационного процесса [8].



а б в

Рисунок 1 – Спектр сигнала при коллективном колебании кавитационной области: а – без добавления розового шума; б – с добавлением розового шума; в – зависимость мощности субгармоники $F_0/2$ от амплитуды сигнала с периодом $2T_0$ с учётом искажений.

На рисунке 1в представлена зависимость мощности субгармонической компоненты $F_0/2$ от амплитуды сигнала с периодом $2T_0$. Значение мощности определялось как максимум спектральной плотности в полосе частот $F_0/2 \pm 2{,}5$ кГц. Из графика видно, что при увеличении амплитуды двухпериодной составляющей интенсивность линии $F_0/2$ возрастает, однако рост носит выраженный нелинейный характер. В модели учитывается влияние временных смещений импульсов, амплитудных флуктуаций и вероятностных пропусков отдельных импульсов. Эти факторы приводят к частичному нарушению регулярности

двухпериодной структуры сигнала, уширению спектральной линии $F_0/2$ и перераспределению части энергии в непрерывную составляющую спектра. Дополнительный вклад в изменение формы зависимости вносят нелинейные искажения акустического тракта, вызывающие перераспределение энергии между спектральными компонентами. В результате увеличение амплитуды двухпериодной составляющей сопровождается монотонным, но существенно нелинейным ростом пиковой мощности субгармонической компоненты $F_0/2$.

Заключение. Проведённое моделирование показывает, что появление и рост субгармонической компоненты $F_0/2$ в спектре кавитационного шума связано с формированием двухпериодной структуры акустического сигнала при коллективной динамике кавитационной области. Установлено, что увеличение амплитуды соответствующей составляющей приводит к росту пиковой мощности линии $F_0/2$, однако зависимость имеет нелинейный характер. Это обусловлено влиянием фазовых и амплитудных флуктуаций импульсов, вероятностных пропусков импульсных событий и нелинейных искажений сигнала, вызывающих частичное уширение линии $F_0/2$ и перераспределение энергии в непрерывную составляющую спектра. Полученные результаты показывают, что при интерпретации интенсивности субгармонической компоненты необходимо учитывать влияние стохастических факторов и искажений акустического сигнала.

Список литературы

1. *Evaluation of correlation between chemical dosimetry and subharmonic spectrum analysis to examine the acoustic cavitation / H. Hasanzadeh [et al.] // Ultrasonics Sonochemistry. – 2010. – Vol. 17. – P. 863–86.*

2. *Kwon, O. Simultaneous measurements of acoustic emission and sonochemical luminescence for monitoring ultrasonic cavitation / O. Kwon // The Journal of the Acoustical Society of America – 2021. – P. 4477–4483. Sonochemistry, 40 (1), 104 (2018). DOI: 10.1016/j.ultsonch.2017.04.004.*

3 *Дежкунов, Н. В. Анализ механизма генерирования непрерывной составляющей кавитационного шума / Н. В. Дежкунов, В. С. Минчук, С. В. Уваров, Е. А. Курлюк // Письма в журнал технической физики. – 2024. – Т. 50, вып. 6. – С. 7–10.*

4. *Pengfei, W. Acoustic Characterization of Cavitation Intensity: A Review / W. Pengfei // Ultrasonics Sonochemistry. – 2022. – Vol. 70. – P. 10.*

5. *Курлюк, Е. А. Моделирование однопузырьковой кавитации / Е. А. Курлюк, И. Е. Олешук, А. Ю. Перхунова, (науч. рук. Н. В. Дежкунов) // Материалы 61-й науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР по направлению «Электронные системы и технологии», Минск, 21–25 апр. 2025 г. – Минск : БГУИР, 2025. – С. 362–365. – ISBN 978-985-543-817-6.*

6. *Курлюк, Е. А. Анализ механизма генерирования спектральных составляющих кавитационного шума / Е. А. Курлюк, И. Е. Олешук ; науч. рук. Н. В. Дежкунов, Ю. И. Савилова // Сборник научных работ студентов Республики Беларусь «НИРС 2024» / редкол.: А. Г. Баханович [и др.]. – Минск : Изд. центр БГУ, 2025. – С. 114–116. – 539 с. – ISBN 978-985-553-825-8.*

7. *Курлюк, Е. А. Механизмы генерирования спектральных компонент кавитационного шума / Е. А. Курлюк, А. Ю. Перхунова, В. С. Минчук, Н. В. Дежкунов // Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях (ИАМП–2025): материалы XX юбилейной Всерос. (с междунар. участием) науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Бийск, 22–24 окт. 2025 г. / под ред. оргкомитета конф. – Бийск : Изд-во Алт. гос. техн. ун-та им. И. И. Ползунова, 2025. – С. 115–116.*

8 *Котухов, А. В. Комбинированный метод исследования акустической кавитации / А. В. Котухов, В. С. Гаврилюк, В.С. Минчук, Н. В. Дежкунов // Доклады БГУИР. – 2020. – Т. 18, № 4. – С. 80–88.*

UDC 534.8

INTENSITY OF THE F0/2 SUBHARMONIC IN THE CAVITATION NOISE SPECTRUM DURING COLLECTIVE OSCILLATIONS OF BUBBLES IN THE CAVITATION REGION

Kurliuk E.A, Lebed A.A., Boidzich A.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Dezhkunov N.V. – Cand. of Sci., associate professor, Head of the Research Laboratory 5.2

Annotation. The formation of the subharmonic component $F_0/2$ in the cavitation noise spectrum is examined. Using numerical simulation of an acoustic signal with pulsed disturbances corresponding to bubble collapses, the dependence of the $F_0/2$ peak amplitude in the spectrum on the pulse amplitude at double the field frequency is investigated. It is shown that the increase in the subharmonic intensity is nonlinear.

Keywords: cavitation, cavitation noise, spectrum analysis, modeling

УДК 621.7-4

ОБЗОР ТЕХНОЛОГИИ *BOSCH PROCESS* КАК ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО МЕТОДА ТРАВЛЕНИЯ

Барковская К.Н.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Мадвейко С.И. – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой ЭТТ

Аннотация. Рассмотрена технология выполнения плазмохимического травления *Bosch Process*. В данной статье представлен принцип данного метода, а также особенности проведения обработки материала при выполнении данного способа травления.

Ключевые слова: плазма, травление, плазмохимическое травление, плазменные технологии.

Введение. Плазменные технологии в последнее время являются важным инструментом в производстве микроэлектронных устройств. Выбирая правильные параметры обработки, можно сделать: плазменную очистку, плазменную активацию поверхности, плазменное осаждение, плазменное травление.

Плазменные технологии обладают следующими достоинствами;

– возможность обрабатывать сложные 3D-объекты и микроканалы;

– экологически чистая технология, без отходов химикатов;

– гибкая настройка процесса для придания поверхности специфических свойств;

– способность обрабатывать чувствительные к температуре материалы;

– возможность обрабатывать проводники, полупроводники и изоляторы и пр.;

– низкая стоимость обработки;

– возможность производить продукцию с высокой добавленной стоимостью по отношению к продукту и др [1].

Основная часть. Плазменное травление заключается в снятии материала с поверхностей с использованием плазменных процессов. Его называют также сухим травлением – в контрасте с традиционными мокрыми процессами травления, в которых используются агрессивные кислоты. Плазма технологических газов преобразовывает протравливаемый материал из твердого в газообразное агрегатное состояние, а вакуумный насос отсасывает газообразные продукты. Метод маскирования позволяет выполнять травление лишь отдельных участков или структур. Плазменное травление выполняется только в плазме низкого давления. Это обусловлено тем, что заметный эффект травления достигается путем длительной обработки, и все травящие газы могут использовать только в плазме низкого давления [2].

Существует 3 метода выполнения плазменного травления:

– ионное травление;

– ионно-химическое травление;

– плазмохимическое травление (ПХТ) [3].

Плазмохимическое травление – это передовая технология очистки поверхностей от органических и неорганических загрязнений с использованием плазменной и химической обработки. Это процесс удаления материала с поверхности с использованием плазменного разряда и химических реакций.

При классическом ионном травлении удаление частиц материала происходит за счет соударения ионов рабочего инертного газа, чаще всего аргона, с поверхностью образца. Однако скорость такого процесса невысока и зависит от коэффициента распыления материала изделия.

Чтобы ускорить скорость травления и сделать ее более селективной используется процесс плазмохимического травления, основное отличие которого от классического травления заключается в добавлении в рабочую камеру реактивного газа, чаще всего фтористого. За счет химической реакции с материалом образца и одновременной

бомбардировки инертным газом – аргоном становится возможен процесс глубокого травления, например кремния, который получил название *Bosch Process* [4].

Глубокое реактивное ионное травление (*DRIE*) кремния для создания микроструктур с высоким соотношением сторон является одним из ключевых процессов в области передовых *MEMS*-технологий и применения технологии *TSV* (*through silicon via*). Однако традиционные методы плазменного травления рассчитаны на глубину травления всего в несколько микрон, и им не хватает скорости травления и селективности по маске. Технология *Bosch Process* позволяет получать глубокие изображения с исключительной анизотропией, скоростью травления и селективностью по маске.

Этот процесс состоит из цикла, включающего в себя 3 шага: нанесение пленки, травление нижней плёнки и травление кремнием. В процессе нанесения на боковые стенки и нижнюю поверхность углубления наносится пассивирующая плёнка. При выполнении шага травления нижней плёнки на нижней поверхности углубления пассивирующую плёнку травят выборочно. На этапе травления кремнием на нижней поверхности углубления травят только кремний, где была удалена пассивирующая плёнка. Данный процесс изображён на рисунке 1 [5].

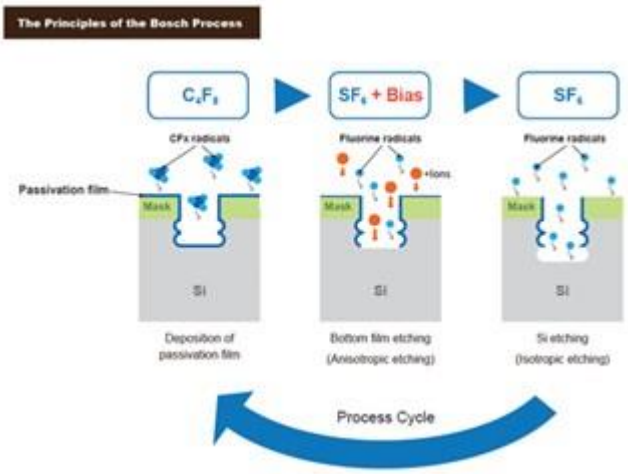


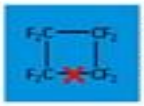
Рисунок 1 – Принцип работы *Bosch Process* [5]

Химические реакции, протекающие при выполнении *Bosch Process* представлены в таблице 1.

Шаг с нанесением обычно использует газ C_4F_8 в качестве осаждающего газа. C_4F_8 представляет собой циклическую молекулу (кольцеобразной формы), в плазме её кольцо разрывается, и она превращается в короткоцепочечную молекулу. Оба конца цепочки C_4F_8 активны. Активные части цепочки соединяются с другими молекулами, и цепочка увеличивается в длину, прикрепляясь к кремнию и образуя мембрану. Эта мембрана выполняет функцию пассивирующей плёнки на этапе травления кремния, предотвращая травление боковых стенок.

SF_6 обычно используется в качестве травильного газа для травления плёнок и кремния. SF_6 диссоциирует в плазме с образованием SF_4 или SF_2 и атомарного фтора, который вступает в реакцию с кремнием. Как SF_4, так и продукт реакции травления, SiF_4, существуют в виде газов, которые удаляются из камеры. SF_4 настолько стабилен, что атомы фтора не могут рекомбинировать с ним. Таким образом, может образовываться большое количество атомарного фтора, который участвует в реакции травления [5].

Таблица 1 – Химические реакции *Bosch Process* [5]

Chemical Reaction Notes for Cycle Steps (1) and (3)	
Step 1: Deposition process of passivation film. (C_4F_8 chemical reaction)	**Step 3: Silicon etching process. (SF_6 chemical reaction)**
1. $C_4F_8 \rightarrow$ -$(CF_2\ CF_2\ CF_2\ CF_2)$- Cyclic C_4F_8 is ring-opened with plasma and both ends become activated.  C_4F_8 Octafluorocyclobutane (RC318) CAS Number : 115-25-3 UN1976	1. $SF_6 \rightarrow SF_4 + 2F$ or $SF_6 \rightarrow SF_2 + 2F$ SF_6 is split into chemically metastable SF_4 and two individual fluorine atoms.
2. $X\text{-}(CF_2)_4\text{-} \rightarrow \text{-}(CF_2)_{4X}\text{-}$: Polymer ↓ A CF_2 polymer is generated when the ring-opened C_4F_8 molecules react with each other. The passivation film is formed when CF_2 polymers are deposited on the surface.	2. $Si(solid) + 4F \rightarrow SiF_4$: Gas ↑ Fluorine atoms react with the silicon. This is isotropic (side) etching.

CF_4 разлагается с образованием атомарного фтора в плазме. Однако реакция разложения обратима, и из CF_4 невозможно получить большое количество атомарного фтора. NF_3 азотирует поверхность кремния и предотвращает травление кремния, в результате чего скорость травления составляет примерно треть от скорости травления SF_6.

На рисунке 2 представлены реакции, которые объясняют необходимость выполнять этапы осаждения и травления по отдельности [5].

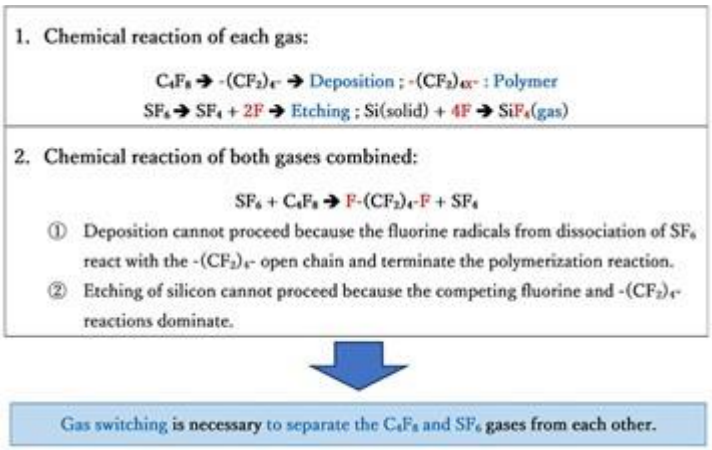


Рисунок 2 – Суть разделения этапов осаждения и травления [5]

Кольцевая структура C_4F_8 разрушается, и в плазме образуется C_4F_8 в форме цепочки. Реакция полимеризации происходит, когда -$(CF_2)_4$-группы взаимодействуют друг с другом, образуя более длинные цепочки. Полимер образует пассивирующую пленку на поверхностях протравленных углублений. В присутствии SF_6 радикалы фтора, образующиеся в результате диссоциации SF_6, вступают в реакцию с цепными -$(CF_2)_4$-группами и прекращают реакцию полимеризации. Кроме того, радикалы фтора исчезают по мере того, как они расходуются в ходе реакции прекращения, и, таким образом, травление не может произойти. Таким образом, быстрое переключение газа каждые 0,1 секунды позволяет избежать смешивания газов C_4F_8 и SF_6.

На рисунке 3 представлены профили боковых стенок, получаемые в результате выполнения *Bosch Process* [5].

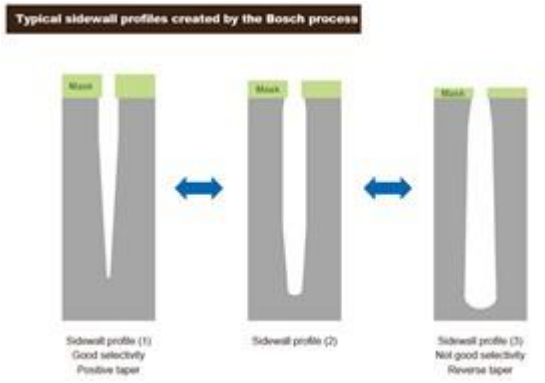


Рисунок 3 – Профили боковой стенки, получаемые при выполнении *Bosch Process* [5]

По рисунку 3 видно, что профили выглядят по-разному, а именно:

1 Профиль (1) непосредственно под маской вертикальный. Он постепенно сужается к низу.

2 Профиль (2) непосредственно под маской имеет обратную конусность. Он становится вертикальным и постепенно сужается по мере увеличения соотношения сторон или глубины травления.

3 Профиль (3) боковой стенки с обратной конусностью [5].

Заключение. Таким образом технология *Bosch Process* позволяет получать глубокие изображения селективно и с высокой скоростью обработки. Однако из-за особенностей технологического процесса возникают следующие сложности:

– на третьем шаге цикла скорость травления сильно зависит от площади отверстия в обрабатываемом материале и хуже переносятся радикалы на нижнюю поверхность такого отверстия;

– образование зазубрин на обрабатываемой поверхности и неровности из-за неравномерности распределения плазмы.

Данные проблемы решаются путём настройки оборудования и режимами обработки [5].

Список литературы

1. *Плазменные технологии для обработки поверхности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://sernia.ru/training/plazmennye_tekhnologii_dlya_obrabotki_poverkhnosti/. Дата доступа: 03.03.2026.*

2. *Плазменное травление: Снятие оксидных слоев, фоторезиста [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.plasma.com/ru/travlenie-plazmoi/. Дата доступа: 03.03.2026.*

3. *Плазменное травление (RIE, RIE-ICP, DRIE) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://minateh.ru/equipment/technological/plasma-etching/. Дата доступа: 03.03.2026.*

4. *Плазмохимическое травление [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://gn-tech.ru/tekhnologii/plazmokhimicheskoe-travlenie/#:~:text=Плазмо-химическое%20травление%20-%20это%20передовая,плазменного%20разряда%20и%20химических%20реакций. Дата доступа: 03.03.2026.*

5. *What is the Bosch Process (Deep Reactive Ion Etching)? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.samcointl.com/news-events/tutorials/what-is-the-bosch-process/. Дата доступа: 03.03.2026.*

UDC 621.7-4

REVIEW OF THE BOSCH PROCESS TECHNOLOGY AS A PLASMA-CHEMICAL ETCHING METHOD

Barkouskaya K.M.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Madveika S.I. – Cand. of Sci., Associate Professor, Head of the Department of electronic technique and technology

Annotation. The technology of performing plasma-chemical etching using the Bosch Process has been reviewed. This article presents the principle of this method, as well as the features of material processing when carrying out this etching method.

Keywords: plasma, etching, plasma-chemical etching, plasma technology.

УДК 004.89–93:616.12-07

СИСТЕМА НЕЙРОСЕТЕВОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ЭКГ С ON-PREM ВЕБ-ШЛЮЗОМ

Ларченко Н.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Давыдов М.В. – к.т.н., доцент, первый проректор

Аннотация. Разработана система автоматической интерпретации электрокардиограмм на основе методов глубокого обучения. Система выполняет анализ сырых сигналов ЭКГ со встроенной предобработкой и формирует диагностические предположения по набору кардиологических патологий. Архитектура модели позволяет эффективно извлекать морфологические признаки сигнала и учитывать долгосрочные временные зависимости. Результатом работы алгоритма является ранжированный список наиболее вероятных диагнозов с оценками вероятности. Для повышения интерпретируемости реализована визуализация влияния различных участков сигнала на решение модели. Система развёртывается внутри инфраструктуры медицинского учреждения и предоставляет доступ к функциональности через локальный веб-шлюз.

Ключевые слова: электрокардиограмма, глубокое обучение, автоматическая интерпретация, кардиологические патологии, интерпретируемость

Введение. Электрокардиография является одним из основных инструментов диагностики сердечно-сосудистых заболеваний. Анализ ЭКГ требует выявления морфологических особенностей сигнала и временных зависимостей между его элементами. В клинической практике интерпретация электрокардиограмм выполняется специалистом и зависит от его опыта и квалификации.

В последние годы методы искусственного интеллекта активно применяются для автоматизации анализа медицинских сигналов. Современные алгоритмы глубокого обучения способны выявлять сложные закономерности в данных и повышать точность диагностики заболеваний сердечно-сосудистой системы. Использование нейросетевых моделей в кардиологии позволяет ускорить обработку данных и снизить вероятность диагностических ошибок. Алгоритмы машинного обучения уже применяются для анализа медицинских изображений и сигналов, включая электрокардиограммы, где они демонстрируют способность обнаруживать патологические изменения, не всегда очевидные при визуальной интерпретации сигнала [1].

Одновременно развивается направление автоматизации обработки медицинских данных и интеграции интеллектуальных алгоритмов в клинические информационные системы. Такие решения позволяют ускорить анализ диагностических данных и повысить эффективность работы медицинского персонала [2]. Развитие технологий Big Data и методов анализа больших данных играет важную роль в персонализированной медицине, позволяя обрабатывать большие массивы медицинской информации и формировать индивидуальные стратегии лечения пациентов [3].

В связи с этим актуальной задачей является разработка систем автоматической интерпретации электрокардиограмм, которые могут выступать инструментом поддержки принятия решений врача.

Основная часть. Использование глубокого обучения в анализе кардиологических данных позволяет автоматически извлекать диагностически значимые признаки из сигналов ЭКГ и медицинских изображений [4]. Предлагаемая система предназначена для автоматического анализа сигналов электрокардиограммы и формирования диагностических предположений на основе методов глубокого обучения.

На вход системы поступает сырой сигнал ЭКГ. Встроенный модуль предобработки выполняет ресэмплирование и фильтрацию полосовым фильтром Баттерворта, обрабатывает дриифт базовой линии, выполняет сглаживание. После этого проводится проверка и коррекция полярности, обработка пропусков и плоских участков, нормализация и приведение длины. В конце вычисляются простые показатели качества записи. Конвейер возвращает как сам очищенный сигнал, так и словарь с оценками его качества.

Основу системы составляет гибридная нейросетевая архитектура, объединяющая сверточные нейронные сети и механизм самовнимания трансформера. Сверточные слои используются для извлечения локальных морфологических признаков сигнала, включая форму комплексов и сегментов электрокардиограммы. Трансформерный блок анализирует долгосрочные временные зависимости между различными участками сигнала.

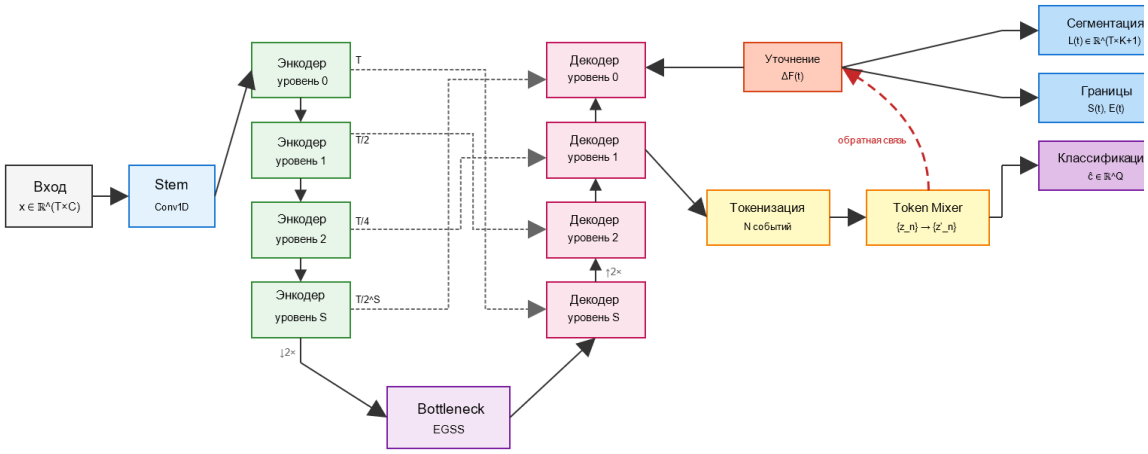


Рисунок 1 – Архитектура нейросетевой системы интерпретации ЭКГ

Современные исследования показывают, что алгоритмы искусственного интеллекта способны выявлять патологические изменения сердечной деятельности, которые могут быть трудно обнаружимы при традиционном визуальном анализе сигналов [5]. Для повышения интерпретируемости решений реализован механизм визуализации влияния различных участков сигнала на итоговое предсказание модели.

На основе анализа внутренних представлений нейросети формируется карта значимости, показывающая участки сигнала, оказавшие наибольшее влияние на диагностическое решение.

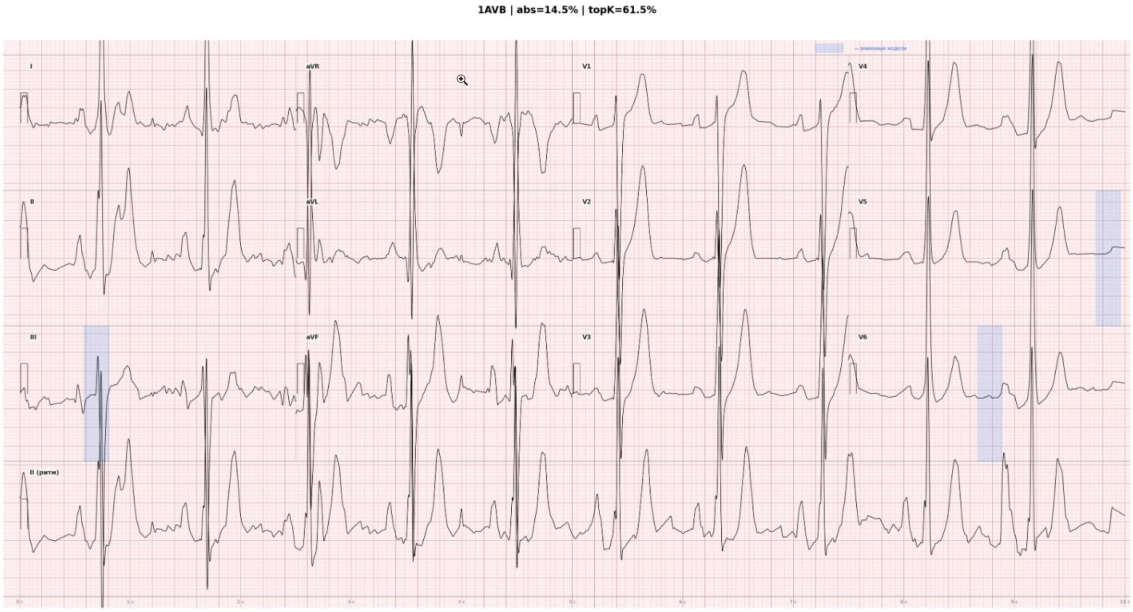


Рисунок 2 – Визуализация значимых участков сигнала ЭКГ

Такая визуализация позволяет врачу сопоставить вывод модели с морфологическими особенностями сигнала и оценить обоснованность полученного результата.

Для оценки эффективности системы была проведена серия экспериментов по диагностической интерпретации электрокардиограмм.

Качество модели оценивалось с использованием метрики top-k, при которой предсказание считается корректным, если правильный диагноз присутствует среди нескольких наиболее вероятных результатов.

Результаты экспериментов показали точность около 90 % по метрике top-3, когда система выводит три наиболее вероятных диагноза.

Дополнительно была проведена экспертная проверка результатов работы модели. Врач-кардиолог оценил корректность диагностических выводов системы. В ходе анализа было установлено, что приблизительно в 80 % случаев один из предложенных системой диагнозов совпадал с клиническим заключением специалиста.

Заключение. Разработанная система демонстрирует возможность эффективного применения методов глубокого обучения для автоматической интерпретации электрокардиограмм. Использование гибридной архитектуры CNN и трансформера позволяет учитывать как локальные морфологические признаки сигнала, так и глобальные временные зависимости.

Интеграция механизма визуализации объяснимости повышает прозрачность работы модели и облегчает взаимодействие врача с системой. Реализация локального веб-шлюза позволяет развернуть систему в инфраструктуре медицинского учреждения без передачи медицинских данных во внешние сервисы.

Предложенный подход может использоваться как основа для создания систем поддержки принятия решений в кардиологии.

Список литературы

1. *Применение искусственного интеллекта в кардиологии и перспективы его дальнейшего внедрения = Application of artificial intelligence in cardiology and prospects for its implementation / Н. А. Ларченко, Е. А. Курлюк, М. В. Давыдов, Е. К. Курлянская // Медэлектроника–2024. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии : сборник научных статей XIV Международной научно-технической конференции, Минск, 5–6 декабря 2024 г. – 2024. – С. 12–16 (дата обращения: 05.03.2025).*

2 Автоматизация обработки медицинских данных с использованием компьютерного зрения: подходы и перспективы внедрения в кардиологии = Application of artificial intelligence in cardiology and prospects for its implementation / Е. А. Курлюк, Н. А. Ларченко, М. В. Давыдов, Е. К. Курлянская // Медэлектроника–2024. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии : сборник научных статей XIV Международной научно-технической конференции, Минск, 5–6 декабря 2024 г. – 2024. – С. 254–259 (дата обращения: 05.03.2025).

3. *Ларченко Н.А., Андриалович И.В. BIG DATA и Advanced Analytics в персонализированной медицине // Десятая Международная научно-практическая конференция «BIG DATA and Advanced Analytics. BIG DATA и анализ высокого уровня», Минск, Республика Беларусь. – 2024. – С.181–186 (дата обращения: 05.03.2025).*

4. *Deep echocardiography: data-efficient supervised and semi-supervised deep learning towards automated diagnosis of cardiac disease / Madani, A., Ong, J.R., Tibrewal, A. et al. // Digital Med. – 2018. – Vol. 1, N 59. – Pp. 1-11.*

5. *Artificial intelligence as an emerging tool for cardiologists / Ledziński, L., Grześk, G. // Proceedings of the 2nd International Electronic Conference on Biomedicines, Basel, Switzerland. – 1–31 March 2023.*

UDC 004.89–93:616.12-07

NEURAL NETWORK ECG INTERPRETATION SYSTEM WITH ON-PREM WEB GATEWAY

Larchenko N.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Davydov M.V. – Cand. of Sci., associate professor, first vice-chancellor

Annotation. A system for automatic interpretation of electrocardiograms based on deep learning methods has been developed. The system analyzes raw ECG signals with built-in preprocessing and generates diagnostic assumptions for a set of cardiac pathologies. The model architecture allows for effective extraction of morphological signal features and consideration of long-term temporal dependencies. The result of the algorithm is a ranked list of the most likely diagnoses with probability estimates. To improve interpretability, the influence of different signal segments on the model's decision is visualized. The system is deployed within the infrastructure of a medical institution and provides access to functionality through a local web gateway.

Keywords: ECG, deep learning, automatic interpretation, cardiac pathologies, interpretability

УДК 621.397.3–048.24:004.056.5

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ МОДУЛЬ КОНТРОЛЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Козинцова Е.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Кудина А.В. – к. т. н., доцент, доцент кафедры ЭТТ

Аннотация. В статье рассматривается разработка программно-аппаратного контроля энергопотребления электрооборудования. Основная часть работы заключается в создании комплексного решения, которое обеспечивает сбор параметров электрической сети, хранение и передачу на системы верхнего уровня, контроль энергопотребления на основе полученных данных. Обоснована актуальность создания данного решения, а также сформулированы ключевые требования к его реализации.

Ключевые слова: программно-аппаратный модуль, управление энергопотреблением, модуль контроля энергопотребления, автоматизированные электрические сети.

Введение. Программно-аппаратный модуль контроля энергопотребления электрооборудования (далее – модуль) предназначен для непрерывного измерения, учёта и контроля параметров электрической сети и потребления электроэнергии различными электрическими нагрузками. Модуль обеспечивает сбор оперативных данных: действующее значение напряжения, действующее значение тока, активная мощность, полная мощность, коэффициент мощности, средняя мощность нагрузки. Выполняет хранение и передачу измерительной информации на системы верхнего уровня (системы диспетчеризации, автоматизированные системы учёта и управления энергопотреблением). Модуль также реализует функции защиты от перегрузки и срабатывания тревог при выходе параметров сети за заданные пределы, обеспечивает регистрацию событий и аварий, поддерживает коммуникационные интерфейсы для интеграции в энергоменеджмент и промышленную автоматику [1].

Основная часть. В данной статье рассматривается программно-аппаратный модуль для контроля энергопотребления с интегрированным измерительным трактом и коммуникационными интерфейсами. Модуль состоит из аппаратной и программной частей. Наиболее близкий аналог (прототип) программно-аппаратного устройства изображен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Устройство мониторинга электроэнергии *KM*50-*E*1-*FLK*

В устройстве *KM*50-*E*1-*FLK* отсутствует наличие встроенного *Wi-Fi* модуля и встроенного источника резервируемого питания [2].

Аппаратной частью выступает микроконтроллер *STM*32*L*151*CCT*6 от компании *STMicroelectronics*, относящийся к продуктовой линейке решений с низким энергопотреблением. Микроконтроллеры данной компании широко распространены и обладают большим сообществом пользователей, что очень часто помогает при возникновении неисправностей [3]. Чтобы разрабатываемый индикатор получился компактным и легким, в аппаратной части применяются компоненты типоразмера 0402. Также детектором гамма-излучения выступает счетчик Гейгера-Мюллера СБМ-21. Он характеризуется небольшими габаритными размерами: 21×6×6 мм. В корпусе расположен дисплей «*LCD*1602». В качестве

питания используется встроенный импульсный источник питания с режимом резервирования от *Li-Ion* аккумуляторной батареи. Передача данных осуществляется через встроенный *Wi-Fi* модуль (*Wi-Fi* 802.11 *b/g/n*).

Программная часть включает встроенное программное обеспечение (далее – ПО) (ПО для микроконтроллера, установленного в аппаратную часть), которое выполняет задачи управления. Встроенное ПО имеет прошивку с меню-конфигурациями, поддерживающая настройку каналов, установок, периодов архивации и коммуникационных параметров. Опрос и передача происходит в реальном времени с периодом от 1 с до 1 мин (в зависимости от конфигурации). Формируются архивы энергопотребления: суточные, почасовые, поминутные и архивы с заданным периодом сохранения. В прибор встроены часы реального времени (*RTC*) с резервным питанием для корректной метки времени. Используется объём локальной памяти от нескольких мегабайт до десятков мегабайт (возможна поддержка внешней флеш-памяти)[4]. Измеряемые величины: мгновенные значения *U, I, P* (активная), *Q* (реактивная), *S* (полная), частота сети, потреблённая или отданная энергия (фазная и суммарная).

Область применения охватывает предприятия промышленного, коммунально-бытового и коммерческого секторов, где требуется точный локальный контроль энергопотребления, оптимизация расхода энергетических ресурсов и интеграция в систему управления энергией (*EMS*). В промышленном производстве предполагает использование для мониторинга потребления на цеховых распределительных щитах, контроль электродвигателей и технологических агрегатов, выявление энергоёмких режимов, предотвращение перегрузок и аварий. В коммунальном хозяйстве модуль может быть предназначен для учёта и анализа потребления в многоквартирных домах, котельных, насосных станциях и на объектах уличного освещения для оптимизации графиков включения и снижения потерь. В торговых центрах, офисах, гостиницах осуществляет контроль по зонам для формирования тарифных стратегий, слежение за пиковыми нагрузками и снижение затрат. В сфере энергосбыта и распределительных сетей использование модуля обуславливает удалённый учёт на высоковольтных или низковольтных линиях – фидерах, контроль соответствия договорных мощностей, выявление хищений и несанкционированных подключений. Подходит для объектов с критичной инфраструктурой: дата-центры, больницы, где требуется оперативное оповещение о нарушениях электроснабжения и поддержка бесперебойности работы. Возможно использование в проектах энергосбережения и сертификации в качестве сбора базовой информации для энергоаудита, оценка эффективности мероприятий по энергосбережению.

Предусматривается возможность использования модуля в составе системы «умного здания» или для управления генерацией и аккумуляцией энергии, синхронизации с солнечными панелями и инверторами. Установка модуля на вводе цеха обеспечивает раздельный учёт прибыли подразделений и ограничения потребления в пиковые часы с помощью диспетчеризации. Интеграция нескольких модулей по *RS*-485/*Modbus* в *SCADA*-систему возможна для централизованного отображения установок, временной регистрации событий и построения отчётов по потреблению.

Основные характеристики:

– корпус для монтажа на *DIN*-рейку со степенью защиты корпуса не менее *IP*20;

– линейное напряжение питания 192…242 В *AC* (50 Гц) или вариант 24 В *DC* (в зависимости от исполнения);

– потребляемая мощность до 10…15 Вт.;

– рабочая температура от 0 °С до +55 °С;

– относительная влажность до 95% без конденсации;

– количество конфигурации измеряемых каналов от однофазного до трёхфазного (3-проводное либо 4-проводное) с возможностью расширения дополнительными входами тока;

– диапазон измеряемого напряжения от 57…400 В (фаза-фаза либо фаза-нейтраль);

– входы напряжения с гальванической развязкой или трансформаторным подключением;

– диапазон измеряемого тока от 0…5 А (для прямого подключения) и через трансформаторы тока (ТТ) – до 5/1 А на вход, поддерживаются ТТ с классом точности для нужных диапазонов (допускается подключение внешних шунтов для больших токов);

– класс точности для активной энергии не ниже 1, для напряжений и токов не ниже 0.5.

В приборе защита связи включает поддержку паролей, права доступа, шифрование каналов (дополнительная опция). Используются шины связи: *RS* 485 (поддержка многоточечного подключения), *Ethernet* 10/100*Base T* (дополнительная опция), *USB* (для настройки и локального скачивания данных). Учтена защита от перенапряжения на входах, фильтрация помех, гальваническая развязка измерительных входов, формирование цифровых сигналов аварии, релейных выходов или сообщений по сети при превышении установленных параметров. Возможны различные варианты подключения: точка к точке для локального считывания, многоточечная шина для объединения нескольких модулей, интеграция по *Ethernet* в корпоративную сеть. Рабочий ресурс рассчитан на длительную непрерывную эксплуатацию в промышленной среде [5].

Заключение. Разработанный программно-аппаратный модуль для контроля энергопотребления представляет собой современное решение, сочетающее компактность, энергоэффективность и удобство использования. Применение микроконтроллера *STM*32*L*151*CCT*6 обеспечивает удовлетворительную точность измерений при минимальном энергопотреблении и небольших габаритах устройства, что делает систему практичной для повседневного использования персоналом.

Перспективы развития системы включают интеграцию с облачными сервисами для удаленного мониторинга, применение более совершенных алгоритмов обработки данных и расширение функциональных возможностей. Учитывая обширное количество предприятий, использующих электрооборудование, данный модуль обладает значительным потенциалом для внедрения в различных отраслях – от медицины до атомной энергетики.

Таким образом, предложенное решение обеспечивает эффективный контроль энергопотребления, соответствуя современным требованиям безопасности. Его практическая ценность подтверждается актуальностью задачи, продуманной архитектурой и возможностями для дальнейшего развития.

Список литературы

1. *Технология сборки электронных модулей: учебнометодическое пособие / В.Л. Ланин, А.А. Костюкевич. – Минск : БГУИР, 2018. – 88 с;*

2. *Устройства мониторинга электроэнергии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.proenergo.ru/statyi/ustroystva-kontrolya-energopotrebleniya/?ysclid=mliaatuipo793581084 –Дата доступа: 20.02.2026 г.;*

3. *STM32F103C8T6 Datasheet (PDF) – STMicroelectronics [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f103c8.html – Дата доступа: 19.02.2026 г.;*

4. *Программирование микроконтроллеров STM32: учеб. пособие / А.А. Ключарёв, К.А. Кочин, А.А. Фоменкова. – СПб. : ГУАП, 2023. – 196 с.;*

5. *Телеш, Е.В. Специальное технологическое оснащение. Конспект лекций по дисциплине «Специальное технологическое оснащение» / Е.В. Телеш – Минск : БГУИР, 2007. – 202 с.*

UDC 621.397.3–048.24:004.056.5

HARDWARE AND SOFTWARE MODULE FOR MONITORING ENERGY CONSUMPTION OF ELECTRICAL EQUIPMENT

Kazintsova Y.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus
Kudina A.V. – Cand. of Sci., Associate Professor, Associate Professor of the Department of ETT

Annotation. This article discusses the development of hardware and software for monitoring the energy consumption of electrical equipment. The primary focus of the work is the creation of a comprehensive solution that collects electrical network parameters, stores and transmits them to higher-level systems, and monitors energy consumption based on the data collected. The relevance of this solution is substantiated, and key requirements for its implementation are formulated.

Keywords: Electrical equipment, energy consumption monitoring module, electrical networks, energy management, hardware and software module.

УДК 616.12-073.97:621.3.049.77

ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФ НА БАЗЕ МОДУЛЯ ADS1298ECG-FE

Протасеня И. А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Лушакова М. С. – ст. преподаватель кафедры ЭТТ

Аннотация. Разработан электрокардиограф на базе оценочного модуля ADS1298ECG-FE от Texas Instruments. Устройство предназначено для сбора и анализа электрокардиографических сигналов в реальном времени с возможностью конфигурации каналов для прекордиальных отведений. Модуль обеспечивает низкий уровень шума, высокое разрешение и портативность за счет батарейного питания. Предложена методика настройки для 6-канального режима, включая программное обеспечение для визуализации данных.

Ключевые слова: электрокардиограф, ADS1298, многоканальный АЦП, портативное устройство, ЭКГ-сигналы.

Введение. В современной медицине и биомедицинской инженерии портативные электрокардиографы играют ключевую роль в диагностике сердечно-сосудистых заболеваний. Они позволяют проводить мониторинг ЭКГ в амбулаторных условиях без необходимости в стационарном оборудовании. Актуальность разработки таких устройств обусловлена ростом числа пациентов с сердечными патологиями и необходимостью доступных инструментов для ранней диагностики [1]. Для такого типа устройств актуально наличие встроенного термопринтера, что позволяет на месте получить распечатку кардиограммы и передать врачу для дальнейшего наблюдения за пациентом. Термобумага не требует чернил и сам принтер обладает компактностью и низким энергопотреблением, четкой печатью и не нуждается в подключении дополнительных модулей.

Основная часть. Данный электрокардиограф основан на оценочном модуле ADS1298ECG-FE, который включает 6-канальный 24-битный аналого-цифровой преобразователь (АЦП) с интегрированными функциями для измерения биопотенциалов, в том числе ЭКГ-сигналов. Модуль предназначен для оценки характеристик АЦП ADS1298 в системах мониторинга пациентов портативного ЭКГ-устройства. Он обеспечивает низкий уровень шума (менее 5 мкВ пикового значения) и высокую точность, что критично для регистрации слабых биосигналов сердца.

Оценочный модуль ADS1298ECG-FE от Texas Instruments [1] является ядром устройства и представляет собой удобную платформу для создания различных прототипов, поддерживая до 8 каналов с высоким разрешением. В рамках разработки была выполнена адаптация модуля для 6-канального портативного электрокардиографа, что упрощает сборку и снижает энергопотребление. Модуль обеспечивает низкий уровень шума, высокое разрешение и портативность за счет батарейного питания. Модуль включает в себя четырехслойную печатную плату с АЦП, низковольтными регуляторами (LDO) для аналогового и цифрового питания, а также входные фильтры для подавления электромагнитных помех и антиалиасинговые фильтры. Питание может быть биполярным (±2,5 В) или униполярным (3–5 В), с опцией батарейного источника для обеспечения портативности. Например, использование четырех элементов питания типа AA (1,5 В) обеспечивает автономность до нескольких часов работы в низкопотребляющем режиме (при короткозамкнутой перемычке JP5). Существуют разработки, также использующее данный модуль [2].

На блок-схеме (рисунок 1) показаны основные компоненты: входные электроды подключаются через разъем DB15, сигналы проходят через защитные элементы и поступают на АЦП, данные передаются по интерфейсу SPI на материнскую плату MMB0, а затем по USB на персональный компьютер. Для визуализации и обработки используется графический интерфейс пользователя (GUI), который отображает волновые формы ЭКГ, гистограммы распределения амплитуд и спектры сигналов (FFT). Программное обеспечение позволяет

применять цифровые фильтры: фильтр высоких частот (HPF) для удаления дрейфа базовой линии, фильтр низких частот (LPF) для подавления высокочастотных помех и notch-фильтр для устранения сетевой помехи 50/60 Гц.

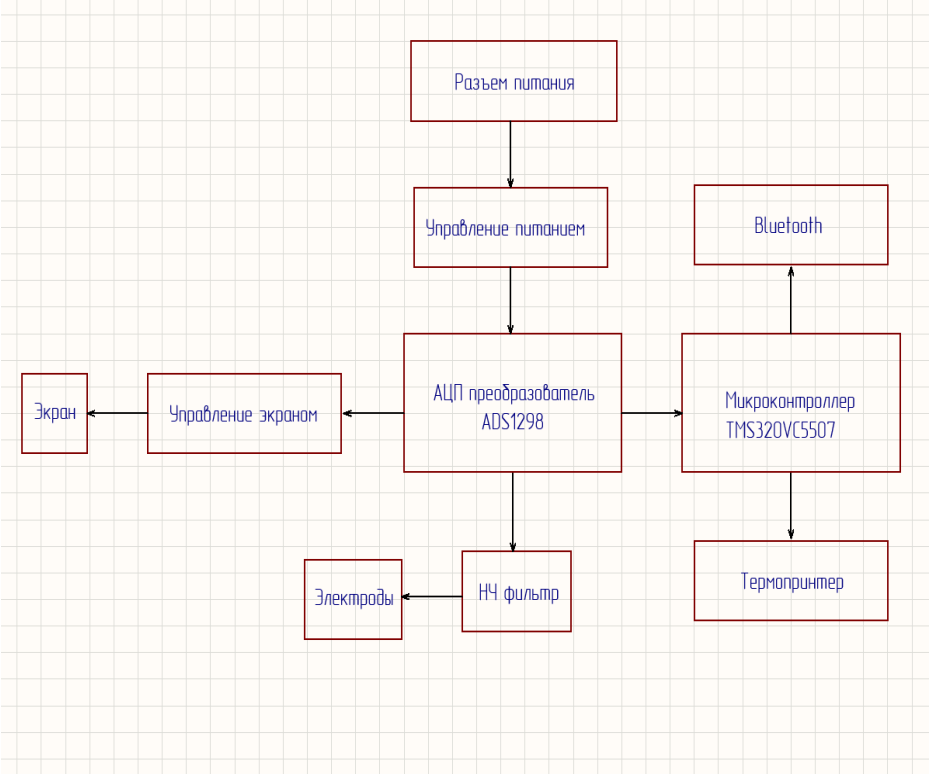


Рисунок 1 – Блок-схема прототипа электрокардиографа на базе ADS1298ECG-FE

Для конфигурации на 6 каналов используются перемычки (джамперы) модуля, такие как JP26–JP33, которые позволяют подключать электроды к конкретным входам АЦП. Например, каналы настраиваются для стандартных отведений: I, II, III (биполярные) и V1–V3 (прекордиальные), с возможностью добавления усиленных отведений aVR, aVL, aVF при необходимости. Это достигается через встроенный мультиплексор (MUX) в программном обеспечении, где глобальные или индивидуальные настройки каналов выбирают режим нормального электрода или подключение к Wilson Central Terminal (WCT) для формирования центральной опорной точки. Дополнительно реализуется схема управления правой ногой (Right Leg Drive, RLD) для активного подавления помех от общего режима.

Таблица 1 – Последовательность настройки каналов для 6-канального режима

№ шага	Действие
1	Установка джамперов JP26–JP31 для подключения электродов V1–V6
2	Конфигурация мультиплексора в ПО для нормального режима электродов
3	Включение привода правой ноги и Wilson Central Terminal для снижения шумов
4	Запуск приобретения данных с частотой дискретизации 500 SPS
5	Анализ сигналов в графическом интерфейсе с сохранением результатов

В 6-канальном режиме устройство регистрирует сигналы с погрешностью менее чем 1 %, что позволяет отследить даже слабые биоритмы с высокой точностью и минимальными отклонениями. Для интеграции термопринтера (как дополнительная функция) необходимо добавить внешний модуль. В данном случае это Fujitsu FTP-628MCL103 [3]. Подключение осуществляется по интерфейсу UART к свободным выводам микроконтроллера, используемого в качестве управляющего контроллера. Данные ЭКГ-сигналов форматируются

в виде растрового изображения (битмап) и передаются на принтер с помощью библиотеки ESC/POS.

Заключение. Разработанный прототип 6-канального портативного электрокардиографа на базе ADS1298ECG-FE демонстрирует простоту адаптации оценочного модуля. Он обеспечивает сбор ЭКГ-сигналов с высоким разрешением и низким энергопотреблением, подходя для мониторинга в полевых условиях. Предложенная методика настройки каналов упрощает реализацию, а возможность батарейного питания повышает мобильность устройства. Устройство оснащено беспроводной передачей данных (Bluetooth) и встроенным термопринтером для полной функциональности. Это способствует развитию навыков в области биомедицинской электроники и может быть использовано в исследованиях сердечных заболеваний [4,5].

Список литературы

1. *ADS1298, ADS1298R, ADS1198, ADS1198R Low-Power, 8-Channel, 24-Bit Analog Front-End for Biopotential Measurements [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads1298.pdf. – Date of access: 06.03.2026.*

2. *ADS1298ECG-FE/ADS1198ECG-FE EVM User's Guide / Texas Instruments. – Dallas: TI, 2016. – 66 p. – Mode of access: https://www.ti.com/lit/ug/sbau171d/sbau171d.pdf. – Date of access: 06.03.2026.*

3. *Seiko Instruments. LTPZ245. Thermal Printer Mechanism. Datasheet. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://seiko-instruments.de/wp-content/uploads/2023/04/ltpz245_2.pdf. – Дата доступа: 08.03.2026.*

4. *Alexseev, V. Approaches to the optimization of the electronic module using the research of transformation of energy of mechanical exposure / Viktor F. Alexeev, Gennady A. Piskun, Dmitriy V. Likhachevsky // Slovak international scientific journal. – 2018. – Vol. 1, N 14. – Pp. 9–27.*

5. *Models for predicting the reliability of integral schemes taking into account the impact of electrostatic discharge / В.Ф. Алексеев [и др.] // Slovak international scientific journal. – 2018. – Vol. 1, N 24. – Pp. 47–62.*

UDC 616.12-073.97:621.3.049.77

ELECTROCARDIOGRAPH BASED ON THE ADS1298ECG-FE MODULE

Protasenia I. A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Scientific supervisor: Lushakova M. S. – Senior Lecturer at the Department of Electronic Engineering and Technology

Annotation. An electrocardiograph based on the ADS1298ECG-FE evaluation module from Texas Instruments has been developed. The device is designed for collecting and analyzing electrocardiographic signals in real time with the ability to configure channels for precordial leads. The module provides a low noise level, high resolution, and portability due to battery power supply. A method for setting up a 6-channel mode is proposed, including software for data visualization.

Keywords: electrocardiograph, ADS1298, multichannel ADC, portable device, ECG signals.

УДК 621.438:620.193.27

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭРОЗИИ ТВЕРДЫМИ ЧАСТИЦАМИ НА УДЕЛЬНЫЙ РАСХОД ТОПЛИВА ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ

Расчислова С.А.

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Республика Татарстан

Научный руководитель: Зинуров В.Э. – к. т. н., доцент, заведующий кафедрой ИГ

Аннотация. В работе численно исследовано влияние эрозии твердыми частицами компрессора на удельный расход топлива газовой турбины методом сопряжённого CFD и термодинамического моделирования. Локализованная шероховатость вызывает более существенную деградацию характеристик. Установлены рост удельного расхода топлива на 0,73% и повышение температуры на входе в турбину на 21,1 К.

Ключевые слова: Газовая турбина, эрозия твердыми частицами, удельный расход топлива, вычислительная гидрогазодинамика, термодинамический цикл, численное моделирование.

Введение. Современная авиационная и энергетическая отрасль сталкивается с необходимостью обеспечения высокой надёжности и экономичности силовых установок в различных климатических условиях. Эксплуатация газотурбинных двигателей в регионах с повышенной запылённостью атмосферы создаёт существенные риски для целостности проточной части. Инородные твёрдые частицы, попадающие в тракт двигателя, способны вызывать необратимые изменения геометрии лопаточного аппарата, что приводит к нарушению газодинамической устойчивости и снижению коэффициента полезного действия. Актуальность темы обусловлена тем, что деградация аэродинамических характеристик компрессора вследствие эрозионного износа напрямую влияет на топливную эффективность и ресурс двигателя, однако количественная связь между локальным повреждением лопаток и глобальными параметрами цикла изучена недостаточно. Традиционные методы оценки износа часто рассматривают шероховатость как равномерно распределённый параметр, что не соответствует реальной физике процесса взаимодействия частиц с поверхностью. В реальности эрозия носит локализованный характер, концентрируясь в зонах наибольшего воздействия потока. Игнорирование пространственного распределения износа может приводить к существенным погрешностям при прогнозировании остаточного ресурса и планировании технического обслуживания. Эрозия, вызванная твёрдыми частицами, доказана как серьёзная угроза безопасности и надёжности работы турбины [1]. Целью данной работы является численная оценка влияния эрозии твердыми частицами на удельный расход топлива газовой турбины посредством комплексного моделирования аэродинамических и термодинамических процессов с учётом локализации зон повреждения.

Основная часть. Исследование базируется на моделировании двигателя, сконфигурированного на базе энергоэффективного агрегата, включающего вентилятор и первые две ступени компрессора низкого давления. Для прогнозирования траекторий частиц и зон эрозионного воздействия применён метод Эйлера-Лагранжа с односторонней связью фаз, что позволяет учитывать инерционные свойства частиц кварцевого песка диаметром 20–80 мкм без существенных вычислительных затрат. Модель эрозии Табакоффа-Гранта использована для определения интенсивности износа материала лопаток, после чего данные о распределении эрозии были трансформированы в карты локализованной шероховатости поверхности. Такой подход позволяет воспроизвести физику взаимодействия абразивных частиц с материалом лопаток, что критически важно для точности прогноза, особенно при учёте температурных эффектов, влияющих на свойства материала.

Термодинамический анализ деградации цикла выполнен с использованием специализированного программного кода, позволяющего варьировать параметры компрессора в соответствии с результатами расчётов потока. Сравнительный анализ трёх сценариев выявил, что неравномерное распределение износа в критических зонах оказывает

непропорционально большое влияние на потери давления. В частности, наиболее уязвимыми зонами являются передние кромки лопаток, области у втулки и периферии, где скорость взаимодействия частиц с поверхностью максимальна. Конкретные результаты показали, что для случая локализованной эрозии снижение изоэнтропического КПД компрессора достигает 10,1%, что трансформируется в рост удельного расхода топлива на 0,73% и увеличение температуры перед турбиной на 21,1 К относительно номинального режима [2].

Игнорирование пространственной локализации эрозии при оценке ресурса двигателя приводит к занижению прогноза топливных потерь. Модель равномерной шероховатости демонстрирует меньшую деградацию параметров при той же интегральной интенсивности износа, что связано с различным влиянием на пограничный слой. Локализованная шероховатость вызывает более ранний отрыв потока и утолщение пограничного слоя в критических сечениях профиля, что приводит к увеличению коэффициента сопротивления и снижению пропускной способности каскада. Это согласуется с данными о том, что даже незначительные изменения геометрии входных кромок могут существенно влиять на угол атаки и условия обтекания профиля.

Дополнительно следует отметить влияние эрозии на температурное поле двигателя. Повышение температуры на входе в турбину является следствием снижения степени повышения давления в компрессоре при сохранении требуемой тяги. Для компенсации потерь система управления двигателем увеличивает подачу топлива, что ведёт к росту температурной напряжённости лопаток турбины. Это создаёт дополнительные риски для ресурса горячей части, так как жаропрочные сплавы чувствительны к превышению рабочих температур. В долгосрочной перспективе это может привести к ускоренному ползучестному разрушению материалов и необходимости внепланового ремонта. Применение эрозионностойких покрытий способно значительно снизить потери топлива и обеспечить экономию в диапазоне 2–5% [3].

Анализ литературных данных свидетельствует о том, что проблема эрозии актуальна не только для песчаных частиц, но и для других абразивных сред, включая вулканический пепел и капли влаги. Различные модели взаимодействия частиц с потоком показывают, что размер и концентрация инородных включений играют ключевую роль в формировании паттернов износа. Частицы меньшего диаметра склонны следовать за линиями тока и могут проникать глубже в проточную часть, вызывая износ последующих ступеней. В то же время крупные частицы обладают большей инерцией и воздействуют преимущественно на входные направляющие аппараты и первые рабочие колёса. Моделирование траекторий песчаных частиц в трансзвуковых ступенях вентилятора подтверждает критическую роль углов соударения и локальной геометрии в формировании зон максимального износа [4].

Важным аспектом является также влияние шероховатости на характеристики следов за лопатками. Увеличение шероховатости приводит к расширению зон пониженного импульса за каскадом, что ухудшает условия работы последующих ступеней. Это явление носит кумулятивный характер: деградация первых ступеней компрессора низкого давления влияет на параметры потока на входе в компрессор высокого давления, вызывая каскадный эффект снижения общей эффективности двигателя. Численные эксперименты подтверждают, что локализованное воздействие на первые ступени может иметь более серьёзные последствия для цикла, чем равномерный износ последних ступеней, из-за влияния на начальные параметры сжатия.

Экономическая эффективность эксплуатации газотурбинных двигателей представляет собой критический параметр, напрямую коррелирующий со степенью деградации проточной части. Выявленное увеличение удельного расхода топлива при масштабировании на совокупный парк авиационной техники обусловливает существенный рост эксплуатационных затрат. Дополнительно, зафиксированное повышение температуры рабочего тела перед турбиной приводит к сокращению межремонтного ресурса горячих частей вследствие интенсификации процессов ползучести и термическая усталость материалов. Таким образом, применение методов численного прогнозирования эрозионного износа предоставляет

возможность оптимизации стратегий технического обслуживания и целевого внедрения эрозионностойких покрытий в наиболее критических зонах лопаточного аппарата, что способствует минимизации стоимости жизненного цикла изделия.

Заключение. В результате исследования установлено, что эрозия твердыми частицами компрессора вызывает значительное ухудшение экономических характеристик газовой турбины, выражающееся в росте удельного расхода топлива и температуры рабочего тела. Установлено, что методология учёта локализованной шероховатости обеспечивает более точную оценку деградации цикла по сравнению с моделями равномерного износа. Полученные данные применимы для оптимизации графиков технического обслуживания двигателей, эксплуатируемых в аридных регионах, и имеют ценность для повышения точности прогнозов ресурса горячих частей турбины. Результаты исследования подтверждают необходимость интеграции аэродинамического и термодинамического моделирования для комплексной оценки влияния внешних факторов на эффективность газотурбинных двигателей.

Исследование выполнено в рамках гранта Академии Наук Республики Татарстан на поддержку программ развития передовых инженерных школ республиканского значения «ТурбоПИШ», соглашение 1РПИШ от 19.12.2025 г.

Список литературы

1. *Zhang J., Liu H. Effect of solid particles on performance and erosion characteristics of a high-pressure turbine //Energy. – 2023. – T. 272. – C. 127185.*

2. *Alqallaf J., Teixeira J. A. Numerical study of effects of solid particle erosion on compressor and engine performance //Results in Engineering. – 2022. – T. 15. – C. 100462.*

3. *Bonu V., Barshilia H. C. High-temperature solid particle erosion of aerospace components: its mitigation using advanced nanostructured coating technologies //Coatings. – 2022. – T. 12. – №. 12. – C. 1979.*

4. *Ghenaiet A. Modeling and simulation of sand particle trajectories and erosion in a transonic fan stage //Journal of Turbomachinery. – 2025. – T. 147. – №. 7. – C. 071012.*

UDC 621.438:620.193.27

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF SOLID PARTICLE EROSION ON THE SPECIFIC FUEL CONSUMPTION OF A GAS TURBINE

Raschislova S.A.

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Republic of Tatarstan

Zinurov V.E. – Cand. of Sci., Associate Professor, Head of the Department of EG

Annotation. The paper numerically studies the effect of compressor erosion by solid particles on the specific fuel consumption of a gas turbine using coupled CFD and thermodynamic modeling. Localized roughness causes a more significant degradation of the characteristics. The specific fuel consumption increases by 0.73%, and the inlet temperature of the turbine increases by 21.1 K.

Keywords: Gas turbine, solid particle erosion, specific fuel consumption, computational fluid dynamics, thermodynamic cycle, and numerical modeling.

УДК 004.89:004.032.26:61

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ВРАЧЕБНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПНЕВМОНИИ НА ОСНОВЕ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Кошеленков А.Н.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Дик С.К. – к.ф.-м.н., доцент, заведующий кафедры ИКГ

Аннотация. Экспериментально исследовано функционирование систем поддержки принятия врачебных решений (СППВР) для диагностики пневмонии на базе компактных сверточных нейронных сетей. Установлено, что алгоритмическое смещение порога классификации позволяет избежать ложноотрицательных результатов. Предложена методика визуального контроля решений нейросети при помощи алгоритма градиентного картирования (Grad-CAM).

Ключевые слова: системы поддержки принятия врачебных решений, сверточные нейронные сети, искусственный интеллект, диагностика пневмонии

Введение. Широкая область применения систем искусственного интеллекта в лучевой диагностике, построенных на базе сверточных нейронных сетей (СНС), которые имеют тенденцию выступать в роли «черного ящика», выдвигают задачу обеспечения прозрачности и интерпретируемости результатов на одно из первых мест.[1].

В данной статье автором показано, что применение методов визуализации логики ИИ повышает качество функционирования СППВР, что, в свою очередь, может предотвратить врачебные ошибки при массовом клиническом скрининге.

Основная часть. В качестве базовой архитектуры использована сверточная нейронная сеть ResNet-50, предварительно обученная на наборе данных ImageNet (метод Transfer Learning). Выбор данной модели обусловлен наличием остаточных связей, которые решают проблему затухания градиента и обеспечивают высокую эффективность извлечения признаков из медицинских изображений.

Обучение и валидация алгоритма проводились на базе открытого верифицированного набора данных Chest X-Ray Images, содержащего более 5000 рентгенограмм. Процесс подготовки данных включал нормализацию пиксельных значений и аугментацию (повороты, масштабирование) для повышения обобщающей способности модели. Классификационный блок сети был модифицирован путем добавления слоев глобального усредняющего пулинга (Global Average Pooling) и регуляризации Dropout для предотвращения переобучения.

Ключевым требованием к медицинским системам является их прозрачность. Для перевода нейросети из категории «черного ящика» в разряд объяснимого искусственного интеллекта (XAI) в программный контур интегрирован метод Grad-CAM. Данный алгоритм анализирует градиенты целевого класса, поступающие в последний сверточный слой, и формирует тепловую карту активации. Эта карта накладывается непосредственно на исходный рентгеновский снимок, подсвечивая наиболее значимые для сети пиксели. Таким образом, врач получает возможность сопоставить вывод математической модели с реальными клиническими проявлениями патологии.

Для оценки качества работы разработанной интеллектуальной системы использовались стандартные метрики бинарной классификации. Результаты тестирования на отложенной выборке приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты оценки диагностической эффективности нейросетевой модели

Наименование показателя	**Вычисленное значение, %**
Общая точность (Accuracy)	89,26
Чувствительность (Recall)	96,79
Специфичность (Specificity)	81,45
Прогностическая ценность положительного результата (PPV)	88,30

Анализ метрик показывает, что алгоритм обладает высокой чувствительностью (96,79%), что является критически важным параметром для скрининговых медицинских задач. Система успешно выявляет абсолютное большинство случаев заболевания, минимизируя риск пропуска пациентов с пневмонией.

Заключение. Разработана программная архитектура системы поддержки принятия врачебных решений, позволяющая осуществлять потоковую обработку рентгеновских снимков. Доказано, что интеграция алгоритмов классификации на базе ResNet-50 и методов пространственной локализации (Grad-CAM) формирует комплексный диагностический инструмент. Отсутствие скрытой логики благодаря тепловому картированию повышает уровень доверия медицинского персонала к автоматизированному анализу и делает возможным применение системы в условиях экспресс-диагностики.

Список литературы

1. *Владзимирский А. В., Морозов С. П. Искусственный интеллект в лучевой диагностике: основные положения и рекомендации. – М., 2022. – 112 с.*

2. *Selvaraju R. R. [et al.] Grad-CAM: Visual Explanations from Deep Networks via Gradient-based Localization // International Journal of Computer Vision. – 2020. – Vol. 128, № 2. – P. 336–359.*

3. *Kermany D. S. [et al.] Identifying Medical Diagnoses and Treatable Diseases by Image-Based Deep Learning // Cell. – 2018. – Vol. 172, № 5. – P. 1122–1131.*

4. *Стануль А. А. Анализ эффективности применения сверточных нейронных сетей в медицине // Znanstvena misel journal. – 2019. – Vol. 1, № 35. – P. 47–60.*

UDC 004.89:004.032.26:61

INTELLIGENT CLINICAL DECISION SUPPORT SYSTEM FOR PNEUMONIA DIAGNOSIS BASED ON CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS

Koshelenkov A.N.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Dik S.K. – Cand. of Sci.(Phys. and Math.), associate professor, Head of the Department of engineering and computer graphics

Annotation. Experimental study of the functioning of clinical decision support systems (CDSS) for diagnosing pneumonia based on compact convolutional neural networks. It was found that algorithmic shifting of the classification threshold avoids false-negative results. A method for visual control of neural network decisions using the gradient mapping algorithm (Grad-CAM) is proposed.

Keywords: clinical decision support systems, convolutional neural networks, artificial intelligence, pneumonia diagnosis

УДК 616.724–07:004.89

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ДИАГНОСТИКЕ ДИСФУНКЦИЙ ВНЧС

Засинец Ю.А., Хуцишвили В.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Давыдов М.В. – к. т. н., доцент, первый проректор БГУИР

Аннотация. В работе рассматривается разработка интеллектуальной системы поддержки принятия врачебных решений для диагностики дисфункций височно-нижнечелюстного сустава (ВНЧС). Система базируется на использовании локальной модели (LLM) Llama 3.1, интеграции базы данных медицинских показателей и разработке веб-приложения. Особое внимание уделено остеопатическим аспектам диагностики, позволяющим выявлять взаимосвязи между состоянием зубочелюстной системы и опорно-двигательного аппарата.

Ключевые слова: дисфункция ВНЧС, Llama 3.1, остеопатия, база данных, веб-приложение, интеллектуальный анализ.

Введение. Дисфункция височно-нижнечелюстного сустава (ВНЧС) может возникать по самым разным причинам, поэтому их так сложно диагностировать. Согласно принципам остеопатии, организм представляет собой единую биомеханическую цепь. Нарушения в одном звене (например, деформация стопы или перекос таза) неизбежно вызывают реакции в других, включая шейный отдел и ВНЧС. Врач-диагност часто сталкивается с проблемой определения первопричины патологии: является ли она восходящей (от стоп к челюсти) или нисходящей. Интеллектуальный анализ больших массивов данных позволяет автоматизировать поиск этих скрытых связей.

Основная часть. Для реализации системы была спроектирована специализированная база данных (БД), аккумулирующая результаты комплексного обследования. В БД хранятся данные о пациентах (ФИО, возраст и регион), также хранятся данные обследований. К ним относятся: осмотр стоматологический, результаты ультразвуковых исследований (УЗИ), электромиографии (ЭМГ), электроэнцефалографии (ЭЭГ), показатели подометрии (анализ стоп) и остеопатическое тестирование. Локальное хранение данных на собственном сервере обеспечивает полную безопасность персональной информации пациентов и высокую скорость обработки запросов нейросетью без обращения к облачным сервисам.

Ядром системы выступает локальная нейросеть Llama 3.1. С помощью специальной инструкции (System Prompt) мы настроили модель как эксперта, обладающего знаниями в области биомеханики и остеопатии.

В процессе работы Llama 3.1 выполняет «маппинг» – сопоставление векторов различных патологий. Например, обнаружив в базе данных «выраженную пронацию стопы», система автоматически анализирует данные ЭМГ жевательных мышц на предмет асимметрии. Это позволяет реализовать целостный взгляд на здоровье, выявляя, является ли проблема восходящей или нисходящей.

Для удобного взаимодействия врача и пациента было разработано кроссплатформенное веб-приложение. Оно включает в себя:

Интерфейс врача: удобный дашборд с визуализацией графиков активности мышц и результатами тестов. Здесь же выводятся подсказки от нейросети в формате JSON, указывающие на наиболее вероятную причину дисфункции.

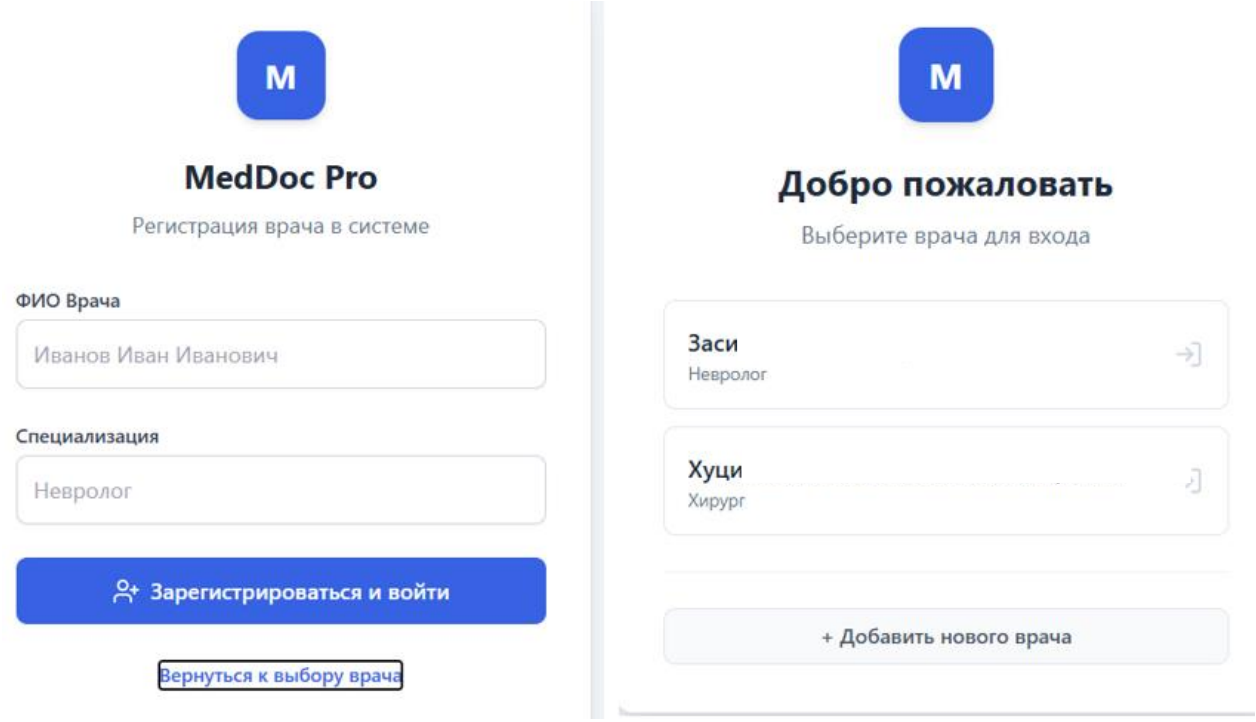


Рисунок 1 – Интерфейс врача при входе в веб-приложение

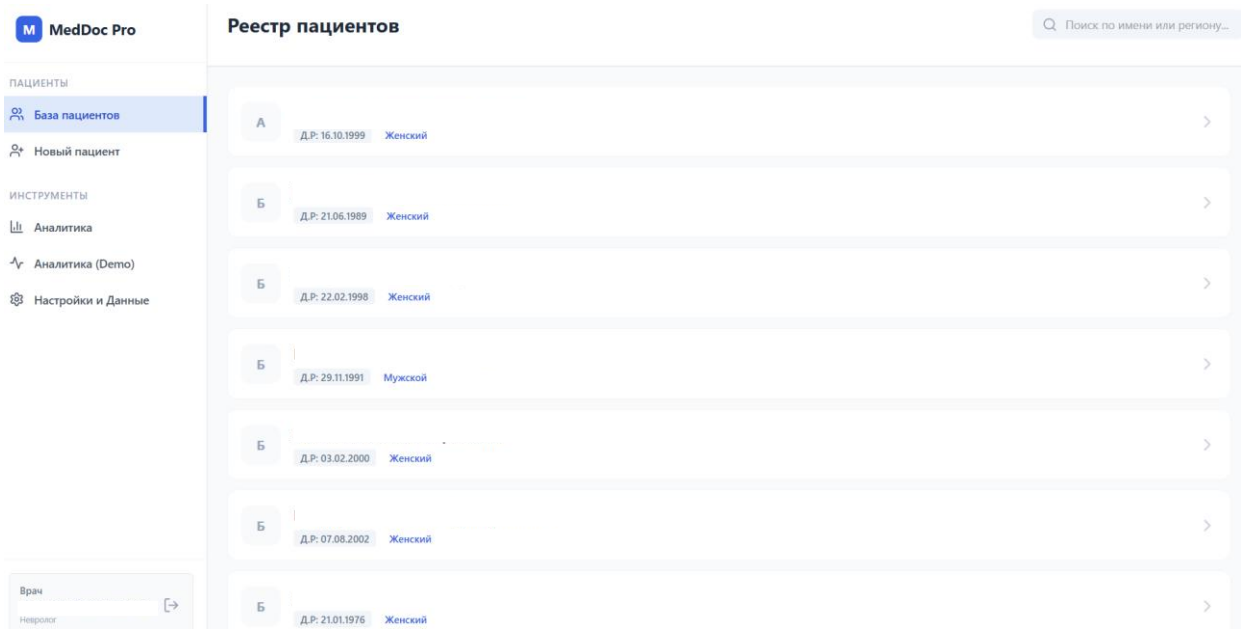


Рисунок 2 – Интерфейс врача при входе в приложение

Дашборд пациента: В личном кабинете реализовано окно интеллектуального анализа. В нем отображаются результаты сравнения паттернов из разных источников (ЭМГ, УЗИ, Постурография). Система визуально разделяет выявленные патологии на восходящие (идущие от стоп) и нисходящие (идущие от прикуса). Врач получает готовый список потенциальных причинно-следственных связей, которые могли быть упущены при ручном анализе.

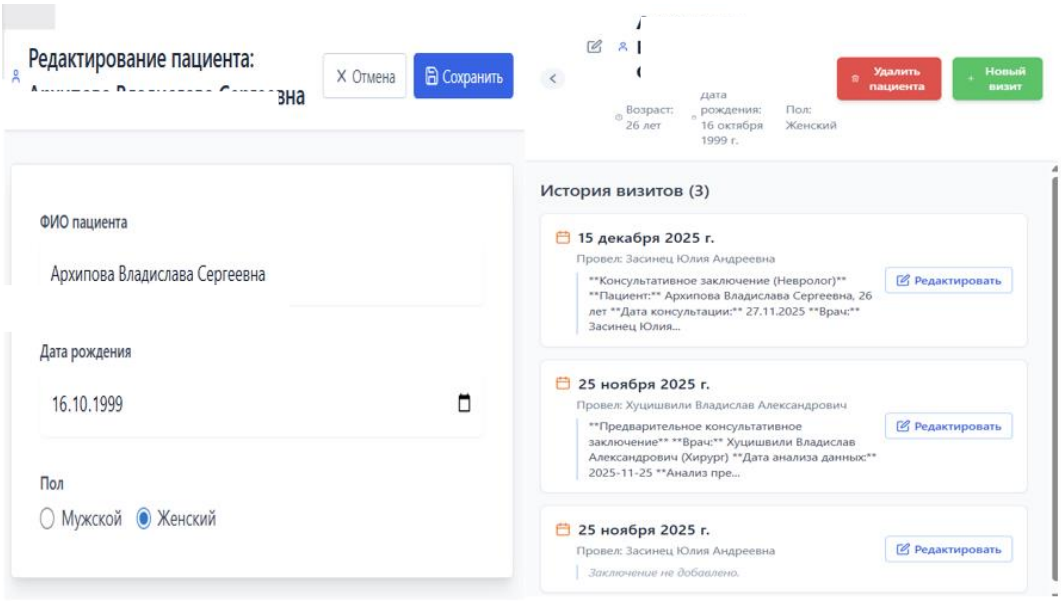


Рисунок 3 – Интерфейс пациента

Разработанная система на базе Llama 3.1 решает главную проблему диагностики ВНЧС – информационную перегрузку врача.

Заключение. Объединение принципов остеопатии с возможностями искусственного интеллекта позволяет не просто фиксировать симптомы, а находить истинную причину заболевания в сложной цепи «стопы – позвоночник – челюсть». Это ускоряет анализ карты пациента и повышает точность первичной диагностики.

Список литературы

1. *Давыдов, М. В. Интеллектуальные информационные технологии в медицинских диагностических системах: учеб. пособие / М. В. Давыдов – Минск: БГУИР, 2018. – 144 с.*

2. *Потапов, И.В. Искусственный интеллект в стоматологии: состояние и перспективы: научн. статья / И.В. Потапов, С.А. Гаврилова – Изд-во «Стоматология для всех», 2022 – 8 с.*

3. *Machado, M., Ribeiro, A. (2024). Decision Support Systems in Temporomandibular Joint Osteoarthritis: A review of Data Science and Artificial Intelligence Applications. Journal of Personalized Medicine, 14(2), 154.*

UDC 616.724–07:004.89

INTELLECTUAL DECISION SUPPORT SYSTEM FOR DIAGNOSING TMJ DYSFUNCTIONS

Zasinets J.A., Khutsyshvili V.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Davydov M.V. – Cand. of Sci, Associate Professor, First Vice-Rector of BSUIR

Annotation. The study discusses the development of an intellectual clinical decision support system designed for the diagnosis of temporomandibular joint (TMJ) dysfunctions. The system is based on the integration of a local large language model (LLM), specifically Llama 3.1, with a comprehensive database of medical parameters and a dedicated web application. Particular emphasis is placed on osteopathic diagnostic aspects, which enable the identification of functional correlations between the stomatognathic system and the musculoskeletal system. The system facilitates the automated analysis of complex data (EMG, podometry, etc.) to determine whether the pathology is «ascending» or «descending» in nature.

Keywords: TMJ dysfunction, Llama 3.1, osteopathy, database, web application, intelligent analysis, decision support system.

УДК 004.3’144:793.7

РАЗРАБОТКА «БРЕЙН-СИСТЕМЫ» ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИГР

Савченко М.Е.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Мадвейко С.И. – к.т.н., доцент, зав. кафедры ЭТТ

Аннотация. Статья посвящена созданию бюджетного устройства для проведения интеллектуальных игр («Брейн-ринг», «Эрудит-квартет»). Система на базе ArduinoUno включает центральный блок и четыре выносные кнопки со светодиодами. Описаны выбор компонентов, режимы работы, процесс сборки и программирования. Разработанное устройство отличается низкой себестоимостью и ремонтопригодностью.

Ключевые слова: интеллектуальные игры, Arduino Uno, электронное устройство, микроконтроллер.

Введение. В последние годы наблюдается устойчивый рост популярности интеллектуальных игр, таких как «Что? Где? Когда?», «Брейн-ринг» и «Эрудит-квартет» [1]. Для обеспечения тренировочного процесса и проведения соревнований подобного формата требуется специализированное оборудование. В связи с этим была поставлена задача разработки и изготовления функционального устройства для игр, отвечающего требованиям минимальных финансовых затрат при сохранении необходимого функционала. Задача системы – помощь в тренировке реакции, а также облегчении игрового процесса как для игроков, так и для ведущего. Благодаря возможности легко переключать режимы система должна быть интуитивно понятна в освоении, а также не требовать особой сложности в транспортировке.

Основная часть. Разрабатываемая система (далее – «Брейн-система») представляет собой электронное устройство, конструктивно состоящее из центрального блока и четырех выносных игровых пультов – кнопок. Ключевым требованием к системе является возможность функционирования в двух основных режимах, определяемых форматом игры: режим 1 и режим 2. Режим 1 («Брейн-ринг») предназначен для состязания двух команд. Фиксация ответа происходит по факту нажатия на кнопку после разрешающего сигнала ведущего. Режим 2 («Эрудит-квартет») предназначен для индивидуальной игры четырех участников. Игроки производят нажатие на кнопку по мере готовности дать ответ.

В обоих режимах нажатие на любую из кнопок должно сопровождаться генерацией звукового сигнала, а также индикацией путем включения светодиода, расположенного как на соответствующей выносной кнопке игрока, так и на центральном блоке управления.

В качестве аппаратной основы проекта была выбрана платформа Arduino Uno, что обусловлено ее простотой, доступностью и наличием всех необходимых интерфейсов ввода-вывода. Архитектура устройства не предполагает работы со сложными протоколами передачи данных, поэтому задача свелась к прямому подключению периферийных компонентов к цифровым и аналоговым выводам микроконтроллера. Питание платы осуществляется от внешнего источника, например, портативного аккумулятора (Power bank) или USB-порта персонального компьютера.

Для реализации проекта была использована следующая элементная база:

– кнопки;

– восемь токоограничивающих резисторов номиналом 300 Ом;

– два стягивающих резистора номиналом 10 кОм для корректной обработки сигналов с кнопок «Старт» и «Сброс»;

– восемь розеток типа 4P4C;

– клавишный переключатель для выбора режима работы устройства;

– динамик;

– телефонные кабели с вилкой типа 4P4C;

– 8 светодиодов;

– Arduino Uno;
– USB–кабель для питания платы;
– распаечные коробки.
Структурная схема проекта представлена на рисунке 1 [2].

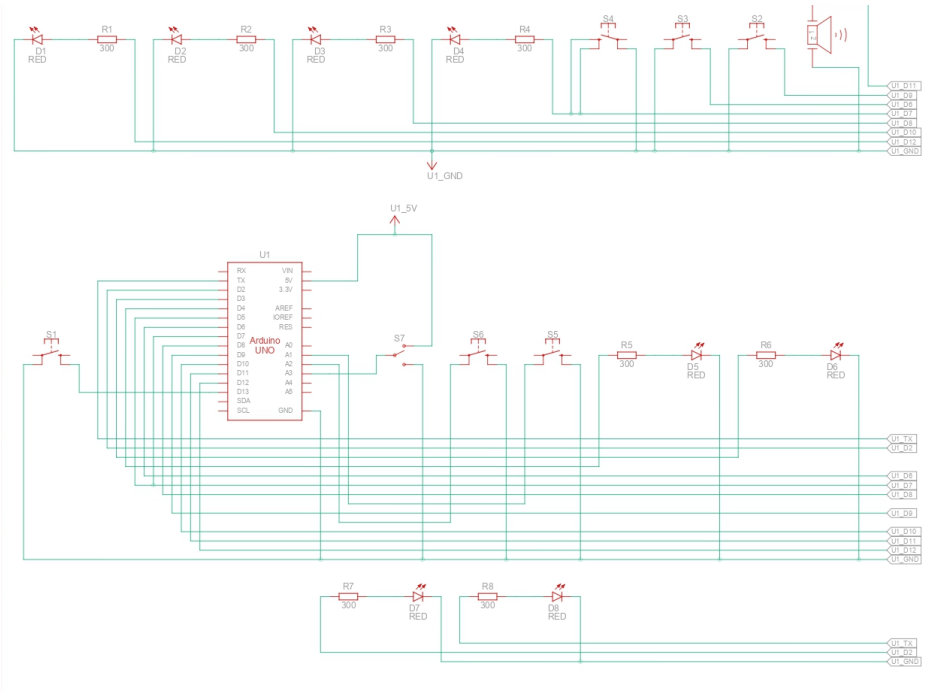


Рисунок 1 – Схема проекта

На этапе проектирования была собрана тестовая схема на макетной плате. Параллельно велась разработка управляющей программы или скетча для микроконтроллера. Программирование осуществлялось в официальной среде разработки Arduino IDE. Скетч должен был обеспечить корректную обработку сигналов в условиях «дребезга» контактов. При нажатии на механическую кнопку в цепи возникают кратковременные хаотичные изменения напряжения, которые микроконтроллер может воспринять как множество ложных срабатываний. Для исключения этого явления в программном коде была реализована функция антидребезга, использующая временную задержку для стабилизации сигнала. Длительность задержки (около 50-100 мс) была подобрана экспериментально для обеспечения компромисса между помехоустойчивостью и скоростью реакции системы. Алгоритм работы в режиме «Брейн-ринг» построен на приоритетах. После команды ведущего программа непрерывно опрашивает состояния кнопок. Первое же зафиксированное нажатие блокирует опрос остальных каналов, зажигает соответствующий светодиод на центральном блоке и выносном пульте, а также активирует звуковую индикацию. Микроконтроллер игнорирует последующие нажатия до тех пор, пока ведущий не произведет сброс состояния системы специальной кнопкой «Сброс». В режиме «Эрудит-квартет» алгоритм работает аналогично, но блокировка наступает только по факту нажатия любого из четырех участников без внешнего разрешающего сигнала.

В качестве корпуса для центрального блока была использована распаечная коробка габаритами 150×110×70 мм. В корпусе были выполнены технологические отверстия для вывода кабеля питания Arduino, монтажа светодиодов, управляющих кнопок, разъемов для подключения выносных пультов, динамика и переключателя режимов.

Корпусами для выносных кнопок послужили малогабаритные монтажные коробки. В каждом из них были проделаны отверстия под тактовую кнопку, сигнальный светодиод и ответную часть разъема для соединения с центральным блоком.

Особое внимание при разработке уделялось удобству использования устройства, а также надежности соединений. Поскольку система предполагает активное использование игроками, все внешние соединения должны выдерживать механические нагрузки.

Выбор разъемов типа 4P4C и соответствующих телефонных кабелей был обусловлен несколькими факторами. Во-первых, такие кабели и разъемы широко распространены и имеют низкую стоимость. Во-вторых, конструкция вилки 4P4C с фиксирующей защелкой обеспечивает надежное удержание в розетке и предотвращает самопроизвольное отключение пульта во время игры, что могло бы привести к спорной ситуации. В-третьих, многожильная структура телефонного кабеля устойчива к частым перегибам. Также важно было учитывать длину провода – она составила 2 метра.

При монтаже выносных пультов на базе малогабаритных монтажных коробок было предусмотрено эргономичное расположение элементов. Тактовая кнопка большого размера установлена в центре верхней крышки, что обеспечивает удобство и быстроту нажатия. Сигнальный светодиод размещен рядом с кнопкой, чтобы игрок мог визуально подтвердить факт регистрации своего нажатия, не отвлекаясь на центральный блок. Расположение элементов на центральном блоке обусловлено удобством для нажатия кнопок «Старт» и «Сброс» ведущим. Для устойчивости корпуса на гладкой поверхности на дно коробки были приклеены резиновые ножки, предотвращающие скольжение. Такая компоновка делает использование устройства интуитивно понятным и исключает ошибочные действия при подключении.

Заключение. В результате проделанной работы была успешно решена основная задача исследования: создано устройство, себестоимость которого значительно ниже рыночных аналогов. Изготовленная Брейн-система эргономична и функциональна: она работает в заданных режимах, обеспечивает комфортный игровой процесс, понятна в освоении и удобна в транспортировке. Система может работать от батарейки, что также обеспечивает удобство использования. Модульная конструкция и применение разборных корпусов обеспечивают ремонтопригодность устройства. Распаечная коробка имеет съёмную крышку с винтовыми креплениями, поэтому в случае возникновения неисправностей корпус может быть демонтирован для диагностики и замены вышедших из строя компонентов.

Список литературы

1. *Козлова О., Бардиян М. Брейн-система [Электронный ресурс] // Хабр Q&A: сайт. 25.05.2016. Режим доступа: https://www.pvsm.ru/arduino/121913#begin. Дата доступа: 04.03.2026.*

2. *Брейн-система для клуба интеллектуальных игр [Электронный ресурс] // Tinkercad. Режим доступа: https://www.tinkercad.com/things/g1rf1VTLFuQ-exquisite-sango/editel?returnTo=https%3A%2F%2Fwww.tinkercad.com%2Fdashboard. Дата доступа: 07.03.2026.*

UDC004.3’144:793.7

DEVELOPMENT OF A «BRAIN-SYSTEM» FOR INTELLECTUAL GAMES

Savchenko M.E.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Madveyko S.I. – Cand. of Sci., associate professor, head of the department of ETT

Annotation. The article is devoted to the creation of a low-cost device for conducting intellectual games(«Brain-Ring», «Erudite-Quartet»). The system based on the Arduino Uno includes a central unit and four remote buttons with LEDs. The article describes the selection of components, operating modes, assembly process, and programming. The developed device is characterized by low cost and maintainability.

Keywords: intellectual games, Arduino Uno, electronic device, microcontroller.

УДК 620.22:615.465

ЭФФЕКТ ПАМЯТИ ФОРМЫ В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВАХ И ЕГО МЕДИЦИНСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

Левоненко Ю.И., Медюха А.Е.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Шахлевич Г.М. – к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры ЭТТ

Аннотация. Рассмотрена природа эффекта памяти формы в металлических сплавах на примере никелида титана. Описан физический механизм явления, основанный на обратимом мартенситном превращении. Проанализировано сочетание биоинертности, сверхэластичности и способности к восстановлению формы, обуславливающее использование этих материалов в травматологии, сердечно-сосудистой хирургии и стоматологии для создания малотравматичных имплантатов и хирургических инструментов нового поколения.

Ключевые слова: эффект памяти формы, материалы с памятью формы, никелид титана.

Введение. Материалы с памятью формы (далее МПФ) представляют собой класс «умных» материалов, способных после значительной деформации возвращаться к своей первоначальной геометрии при воздействии внешнего стимула, обычно под воздействием температуры. Этот уникальный феномен, открывает широкие перспективы для различных отраслей техники и, особенно, для медицины.

Способность материала изменять форму в заданный момент времени позволяет создавать самоустанавливающиеся импланты, малотравматичные хирургические инструменты и интеллектуальные системы фиксации, которые адаптируются к процессам заживления в организме.

Основная часть. Эффект памяти формы (далее ЭПФ) не является универсальным для всех веществ, а реализуется благодаря специфическим структурно-фазовым превращениям.

В металлических сплавах, наиболее известным из которых является $NiTi$ (никелид титана), ЭПФ основан на обратимом мартенситном превращении – сдвигом бездиффузионном фазовом переходе между высокотемпературной фазой (аустенит) и низкотемпературной фазой (мартенсит). На рисунке 1 представлена схема, иллюстрирующая данный процесс на примере деформирования стержня.[1]

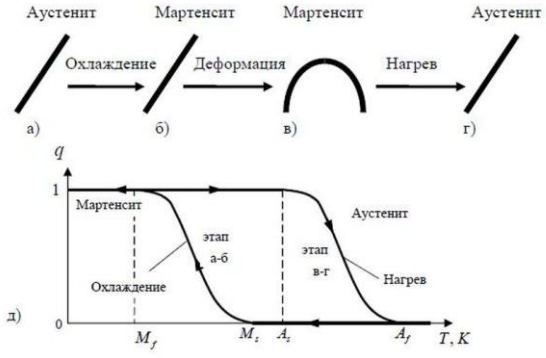


Рисунок 1 – Схема деформирования стержня с ЭПФ

Процесс реализации эффекта включает следующие этапы:

1 Деформация в мартенситном состоянии.

2 Нагрев и обратное превращение.

При низкой температуре сплав находится в фазе мартенсита, которая характеризуется множеством кристаллографических вариантов (двойников). Приложение механической нагрузки приводит к переориентации этих вариантов – росту одних за счет других. Это явление называется двойникованием и позволяет материалу выдерживать значительные деформации, не вызывая необратимого скольжения дислокаций (пластической деформации). После снятия нагрузки деформация сохраняется, так как состояние является метастабильным.[1]

При нагреве выше температуры аустенитного превращения начинается обратный фазовый переход. Кристаллическая решетка из тетрагональной или ромбоэдрической (мартенсит) перестраивается в высокосимметричную кубическую (аустенит). Поскольку в аустените существует только одно энергетически выгодное расположение атомов, материал неизбежно возвращается к своей первоначальной «запомненной» форме. В ходе этого восстановления генерируются значительные усилия, что и используется в актуаторах и фиксаторах.

Помимо ЭПФ, при деформации в высокотемпературном состоянии сплавы $NiTi$ проявляют суперэластичность, возвращаясь к исходной форме сразу после снятия нагрузки.

Уникальные свойства МПФ нашли востребованное применение в медицине, где требуется малотравматичная имплантация и последующая надежная фиксация. Ключевым преимуществом применения нитинола в медицине является его уникальная биосовместимость, обусловленная формированием на поверхности импланта устойчивой инертной оксидной пленки (TiO_2). Эта пленка эффективно пассивирует материал, предотвращая выход токсичных ионов никеля в окружающие ткани и обеспечивая высокую коррозионную стойкость в агрессивной среде организма. Более того, модуль упругости $NiTi$, благодаря эффекту сверхэластичности, максимально приближен к модулю упругости костной ткани среди всех металлических имплантационных материалов. Это уникальное механическое поведение наглядно проиллюстрировано на рисунке 1. [2]

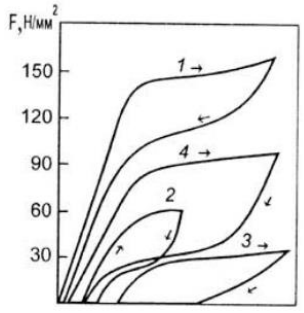


Рисунок 1 – Диаграмма деформации биологических материалов: 1 – волос, 2 – кость, 3 – мягкая ткань, 4 – $NiTi$

Как видно из диаграммы, представленной на рисунке 1, биологические материалы (волосы, кость, мягкая ткань) демонстрируют нелинейное поведение при нагрузке. Ключевое преимущество никелида титана заключается в том, что его кривая деформации (4) практически повторяет гистерезисное поведение живых тканей. Это свойство, известное как псевдоупрогость, позволяет импланту деформироваться вместе с костью или мягкими тканями, не повреждая их и не создавая зон патологического напряжения, что является фундаментальным условием для физиологической регенерации.

Благодаря уникальному сочетанию эффекта памяти формы и сверхэластичности, никелид титана нашел широкое клиническое применение в различных областях медицины. В травматологии и ортопедии из него изготавливают самофиксирующиеся скобы и пластины для остеосинтеза. Имплант вводят в деформированном состоянии, а при нагреве до температуры тела он восстанавливает форму, создавая стабильную компрессию костных отломков на протяжении всего периода заживления.[2]

В сердечно-сосудистой хирургии ключевым продуктом стали самораскрывающиеся стенты. Стенты доставляется в сжатом виде к месту сужения артерии, они раскрываются до заданной формы, восстанавливая кровоток и работая в физиологическом режиме благодаря сверхэластичности материала.[3]

В стоматологии сверхэластичные ортодонтические дуги из $NiTi$ обеспечивают постоянное, но щадящее усилие на зубы на всем протяжении их перемещения, что делает лечение более комфортным и сокращает его сроки.

А также в хирургической практике никелид титана применяется для создания активных пинцетов и зажимов при лапароскопических операциях. Благодаря эффекту памяти формы, рабочие инструменты из трубок $NiTi$, которые могут изменять угол захвата при нагреве электрическим током прямо во время операции. Это позволяет хирургу манипулировать тканями в труднодоступных местах с большей точностью и меньшей травматичностью. Кроме того, сверхэластичность материала обеспечивает постоянное, но щадящее усилие захвата, не повреждая биологические ткани.

Во всех этих случаях – будь то имплант, работающий внутри организма, или инструмент в руках хирурга – никелид титана выступает не просто как пассивный материал, а как функциональный элемент, способный адаптироваться к биомеханике живых тканей, минимизировать риск повреждений и обеспечить долговременную эффективность лечения.

Заключение. Материалы с памятью формы стали настоящим мостом между физикой и медициной. Благодаря пониманию того, как работают мартенситные превращения в металлах, удалось создать импланты, которые умеют подстраиваться под организм. И чем глубже понимание их природы, тем больше возможностей открывается для медицины будущего. Дальнейшее развитие этого направления связано с поиском новых биосовместимых сплавов, расширением температурного срабатывания и разработкой композитных материалов, способных реагировать не только на температуру, но и на магнитные поля или электрический ток непосредственно в организме пациента.

Список литературы

1. *Место конструкций из никелида титана в лечении травм и заболеваний опорно-двигательной системы [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/mesto-konstruktsiy-iz-nikelida-titana-v-lechenii-travm-i-zabolevaniy-oporno-dvigatelnoy-sistemy/viewer. Дата доступа: 05.03.2026*

2. *Наука и жизнь, живой протез в живой ткани [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://m.nkj.ru/archive/articles/10001/?ysclid=mmdaazsqry218190330. Дата доступа: 05.03.2026*

3. *Применение сплавов с памятью формы в медицине [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/304053124_PRIMENENIE_SPLAVOV_S_PAMATU_FORMY_V_MEDICINE. Дата доступа: 05.03.2026*

UDC 620.22:615.465

THE SHAPE MEMORY EFFECT IN METAL ALLOYS AND ITS MEDICAL APPLICATION

Liavonenko Y.I.,Mediukha A.Y.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Shakhlevich G.M. – Cand. of Sci. (Phys. And Math.), associate professor, associate professor of the department of ETT

Annotation. The nature of the shape memory effect in metal alloys is considered on the example of titanium nickelide. The physical mechanism of the phenomenon based on the reversible martensitic transformation is described. The combination of bioinertness, superelasticity and the ability to restore the shape, which determines the use of these materials in traumatology, cardiovascular surgery and dentistry for the creation of low-traumatic implants and surgical instruments of the new generation, is analyzed.

Keywords: shape memory effect, shape memory materials, nickel-titanium.

УДК 549.211:621.38

ВЫРАЩИВАНИЯ АЛМАЗНЫХ ПОДЛОЖЕК МЕТОДОМ ХИМИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ ИЗ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ

Полубок А. В., Москаленко К. А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Полубок В. А. – к. т. н., доцент, доцент каф. МПСС ИИТ БГУИР
Позняк А. А. – к. ф-м. н., доцент, доцент каф. ЭТТ

Аннотация. В статье кратко рассмотрен метод химического осаждения из газовой фазы (*CVD*) для синтеза алмазных подложек. Определены главные проблемы в создании больших монокристаллических алмазных структур. Изучены технологические особенности гетероэпитаксиального роста и модификация путём введения примесей в процессе синтезе. Подчёркивается важность контроля за строением кристаллической решётки в процессе выращивания.

Ключевые слова: алмаз, *CVD*, подложки, гетероэпитаксия, монокристаллические плёнки, легирование, качество кристаллов.

Введение. Введение. Современной микроэлектронике требуются материалы с экстремальными характеристиками. Традиционный кремний (ширина запрещённой зоны 1,12 эВ) имеет фундаментальные ограничения по термостабильности и электрической прочности, что затрудняет его эксплуатацию в условиях высоких температур и напряжений [1]. Алмаз обладает уникальными параметрами: шириной запрещённой зоны 5,47 эВ, теплопроводностью до 22 Вт/см·К и пробивным напряжением до 10 МВ/см [1, 2]. Эти показатели превосходят аналогичные показатели *SiC* и *GaN*, делая алмаз перспективным для силовой электроники и детекторов радиации.

Ввиду отсутствия пригодных для серийного производства природных аналогов, основным методом получения высококачественных монокристаллов алмаза является искусственное выращивание методом химического осаждения из газовой фазы (*chemical vapor deposition* (*CVD*)) [3]. Для реализации высоких эксплуатационных характеристик критически важно совершенство кристаллической решётки: плотность дислокаций в материале не должна превышать 10^3 см$^{-2}$ [4]

Основная часть. *CVD* представляет собой основной метод синтеза алмазных подложек. Процесс основан на разложении смеси метана (1–5%) и водорода (95–99%) в микроволновой плазме при температуре 700–900 °C и давлении 20–200 мбар [4]. Активированные радикалы углерода осаждаются на подложку со скоростью роста 1–10 мкм/ч [4].

Ключевой проблемой является выращивание монокристаллических плёнок большой площади. Чаще формируются поликристаллы, чьи границы зёрен создают центры рассеяния носителей заряда и снижают электрофизические характеристики материала [4]. Решением служит гетероэпитаксиальный рост на ориентированных буферных слоях, например иридиевых плёнках на кремнии.

Кристаллическая решётка иридия близка по параметрам к решётке алмаза, что способствует эпитаксиальному росту, а ориентация подложки (001) задаёт направление роста слоёв.

Для обеспечения высокой плотности зародышей в процессе осаждения применяется специальный этап усиленной ионной нуклеации (*Bias Enhanced Nucleation*): подача отрицательного смещения на подложку в плазме позволяет создать центры нуклеации с плотностью до 10^{10} см$^{-2}$ [4]. Когда зародышей много, они быстро соединяются в единый слой, уменьшая число дефектов на стыках. Это даёт возможность растить плёнку нужной толщины, сохраняя её внутреннюю структуру почти идеальной (рисунок 1). Для электроники это значит

одно: приборы на такой подложке будут работать стабильнее и дольше. Особенно выигрывают от этого силовые устройства, которые часто страдают от перегрева и высоких напряжений.



Рисунок 1 - Монокристаллические алмазные пластины, выращенная методом *CVD*

Важный аспект – легирование. Алмаз сложно легировать примесью, обусловливающую *n*-тип проводимости: уровень фосфора залегает на глубине ~0,6 эВ, что даёт низкую концентрацию электронов при 300 К [4]. Бор (*p*-тип) с уровнем 0,37 эВ позволяет достигать концентрации до 10^{21} $см^{-3}$ при соотношении B/C в газовой фазе 100–1000 *ppm* [5]. Отсутствие эффективного *n*-донора осложняет создание *CMOS*-структур [5].

Заключение. Развитие *CVD*-технологий критически важно для получения качественных алмазных подложек.

Алмаз не заменит кремний в массовом производстве, но займёт нишу экстремальной электроники: силовые ключи, радиационно-стойкие детекторы, СВЧ-приборы. Прогнозируется снижение стоимости подложек на 40–50% к 2030 году при масштабировании производства.

Список литературы

1. *Миллер, А. В. Широкозонные полупроводники для силовой электроники: учебное пособие / А. В. Миллер. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2020. – 150 с*

2. *Трапезникова, И. Н. Алмазные приборы силовой электроники / И. Н. Трапезникова // Электронные компоненты. – 2022. – № 4. – Pp. 30–35.*

3. *Ральченко, В. Г. Алмазные пленки, синтезированные методом CVD: свойства и применения / В. Г. Ральченко // Успехи физических наук. – 2022. – Т. 192, № 5. – Pp. 515–530*

4. *Schreck, M. Heteroepitaxial growth of diamond / M. Schreck // MRS Bulletin. – 2014. – Vol. 39, No 2. – Pp. 130–136.*

5. *Kasu, M. N-type diamond growth and its application to electronic devices / M. Kasu // Diamond & Related Materials. – 2018. – Vol. 89. – Pp. 1–7*

UDC 549.211:621.38

CHEMICAL VAPOR DEPOSITION OF SINGLE-CRYSTAL DIAMOND SUBSTRATES

Polubok A. V., Moskalenko K. A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Polubok V. A. – Cand. of Sci., docent, associate professor of the department MPSN IIT BSUIR
Poznyak A. A. – Cand. of Sci., docent, associate professor of the department ETT

Annotation. The article analyzes in detail the chemical vapor deposition (CVD) method for the synthesis of diamond substrates. The main problems in creating large single-crystal structures are identified. The technological features of heteroepitaxial growth and the modification of properties by adding impurities during synthesis are studied. The importance of controlling the crystal lattice structure during the growth process is emphasized.

Keywords: diamond, CVD, wide-bandgap semiconductors, power electronics, doping, radiation detectors

УДК 621.3.049.77–048.24:537.2

ПРОБЛЕМЫ СБОРА ДАННЫХ О КАЧЕСТВЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА И МЕТОДЫ ИХ РЕШЕНИЯ

Новиков Д.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Ревинская И.И. – старший преподаватель кафедры ЭТТ

Аннотация. В статье рассматриваются проблемы сбора данных о качестве атмосферного воздуха, возникающие при модернизации сети наблюдений в рамках проектов международной технической помощи. Новое оборудование поставляется с программным обеспечением, которое не соответствует требованиям национальных нормативных документов по периодам усреднения и не интегрируется в существующие информационные системы. Предлагаются методы решения, основанные на разработке отечественного программного обеспечения, адаптированного к местным условиям и обеспечивающего автоматическую валидацию данных и их передачу в системы РИСАМОС и АС Паветра.

Ключевые слова: мониторинг атмосферного воздуха, международная техническая помощь, газоанализаторы *HORIBA, Derenda APM-2*, сбор данных, РИСАМОС, АС Паветра.

Введение. Качество атмосферного воздуха является одним из ключевых факторов, определяющих здоровье населения. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения, загрязнение воздуха ежегодно становится причиной 7 миллионов преждевременных смертей в мире. В Республике Беларусь действует система государственного мониторинга атмосферного воздуха Национальной системы мониторинга окружающей среды, включающая сеть стационарных пунктов наблюдения в промышленных городах республики.

В рамках проектов международной технической помощи осуществляется поэтапное обновление и расширение наблюдательной сети. В настоящее время реализуется проект по запуску 13 новых пунктов наблюдений, укомплектованных современным оборудованием. Кроме того, на 5 существующих пунктах выполнена замена морально и физически устаревших приборов на новое оборудование.

Набор оборудования новых постов включает:

– газоанализаторы *HORIBA* серии *APxA-370* для измерения концентраций *NO*, NO_2, *NOx*, SO_2, *CO*, O_3;

– приборы *Derenda APM-2* для измерения содержания твердых частиц фракций PM_{10} и $PM_{2.5}$;

– хроматографы *AMA GC5000* для определения концентраций бензола, толуола и ксилолов (орто-, мета-, пара-);

– комплект метеорологических датчиков, измеряющих температуру воздуха, атмосферное давление, относительную влажность, скорость и направление ветра, количество осадков и солнечную радиацию.

Однако программное обеспечение, поставляемое с новым оборудованием, оказалось непригодным для прямого использования в белорусской системе мониторинга. В данной статье выполнен анализ этих проблем и предложены методы их решения, основанные на разработке отечественного программного обеспечения.

Основная часть. При сборе данных о качестве атмосферного воздуха с использованием нового импортного оборудования возникает ряд проблем, которые можно классифицировать следующим образом:

– несоответствие периода усреднения национальным нормативам;

– различие в единицах измерения;

– закрытость форматов данных в составе павильонов;

– отсутствие в разрабатываемом ПО необходимых механизмов проверки данных;

– необходимость передачи данных в форматы, принимаемые системами РИСАМОС и АС Паветра.

Проблема 1: Несоответствие периода усреднения**.** Иностранное программное обеспечение, поставляемое с газоанализаторами *HORIBA*, реализует часовое усреднение данных, что соответствует международной практике. Однако белорусские нормативные документы требуют 20-минутного осреднения для оценки соответствия предельно допустимым концентрациям (ПДК). Попытка использовать часовые данные для оценки соответствия 20-минутным ПДК некорректна, поскольку за час концентрации могут существенно меняться, и кратковременные превышения норматива могут быть сглажены при усреднении. Для решения данной проблемы необходимо разработать программное обеспечение, реализующее сбор данных с высокой частотой и последующее формирование 20-минутных средних значений.

Проблема 2**:** Различие в единицах измерения. Иностранное ПО выдает результаты в частях на миллион (*ppm*) или частях на миллиард (*ppb*), тогда как белорусские нормативы оперируют микрограммами на кубический метр (мкг/м³). Теоретически пересчет из объемных долей в массовые концентрации требует знания текущих температуры и давления воздуха. Однако на практике для обеспечения стабильности и независимости результатов используется упрощенный подход: применяются универсальные коэффициенты пересчета при нормальных условиях (температура 0°C, давление 760 мм рт. ст.), заложенные в приборы производителем.

Коэффициенты пересчета для различных веществ составляют:

– *NO* – 1,34 (пересчет из ppb в мкг/м³ при 0°C и 760 мм рт. ст.);

– NO_2 – 2,05;

– SO_2 – 2,86;

– *CO* – 1,25;

– O_3 – 2,14;

– бензол – 3,49;

– толуол – 4,11.

Такой подход обеспечивает воспроизводимость результатов, исключает зависимость от дополнительных метеодатчиков и их поверки, а также гарантирует получение данных даже при отказах второстепенного оборудования.

Проблема 3: Закрытость форматов данных в составе павильонов. Сами газоанализаторы *HORIBA* имеют открытые протоколы обмена (*UDP*) и позволяют получать данные в режиме реального времени. Однако в составе поставляемых павильонов устанавливается дата-логгер со встроенным программным обеспечением для сбора и обработки данных компании *Orion*. База данных этого логгера закрыта, и попытки прямого доступа к ней не увенчались успехом. Предусмотренное производителем *API* позволяет забирать данные, но только с часовым осреднением, что не удовлетворяет требованиям национальных нормативов.

Решение заключается в разработке собственных парсеров для непосредственного опроса приборов *HORIBA (UDP), Derenda APM-2 (TCP)*, метеодатчиков через модули *ADAM (Modbus)* и хроматографов *(MSSQL)* в обход закрытого дата-логгера.

Проблема 4**:** Необходимость валидации данных. В процессе эксплуатации выявлено, что по тем или иным причинам приборы могут выдавать некорректные значения. Например, при отключении метеодатчика или его неисправности может передаваться значение -40°C (начальное значение диапазона), которое не соответствует реальным условиям. Поскольку разработка собственного ПО ведется полностью самостоятельно, в него целесообразно заложить механизмы проверки поступающих данных.

Предлагаемая многоуровневая система валидации включает:

– проверку физически возможных значений (концентрации не могут быть отрицательными, скорость ветра ограничена);

– выявление резких скачков, нехарактерных для атмосферных процессов;

– анализ статусной информации приборов;

– проверку логических связей (например, соотношение $NOx \approx NO + NO_2$);

– статистическую фильтрацию выбросов.

Проблема 5**:** Интеграция с национальными системами сбора данных. В Республике Беларусь функционируют две основные системы, аккумулирующие данные мониторинга окружающей среды: РИСАМОС (Республиканская информационная система автоматизированного мониторинга окружающей среды) и АС Паветра (автоматизированная система мониторинга атмосферного воздуха). Разрабатываемое программное обеспечение должно не только собирать и обрабатывать данные, но и передавать их в эти системы в форматах, которые они способны принимать.

Для этого необходимо реализовать модули экспорта данных, формирующие выходные файлы в соответствии с регламентами РИСАМОС и АС Паветра.

Предлагаемые методы решения**.** Для устранения выявленных проблем предлагается разработка отечественного программного обеспечения для сбора и анализа данных о качестве атмосферного воздуха на базе открытых технологий (*Python*, *PostgreSQL*). Основные компоненты такого решения включают:

– модули связи с приборами, реализующие асинхронный опрос газоанализаторов *HORIBA (UDP)*, приборов *Derenda APM-2 (TCP)*, метеодатчиков через модули *ADAM (Modbus)* и газохроматографов (*MSSQL*);

– модуль парсинга, преобразующий сырые данные от каждого типа приборов в унифицированный формат;

– модуль валидации, реализующий описанные проверки;

– модуль пересчета единиц измерения по фиксированным коэффициентам производителя;

– модуль агрегации для формирования 20-минутных, часовых, 8-часовых и суточных средних с контролем достаточности данных;

– модули экспорта данных в форматы, совместимые с РИСАМОС и АС Паветра.

Заключение. Выполнен анализ проблем сбора данных о качестве атмосферного воздуха, возникающих при модернизации сети наблюдений в рамках проектов международной технической помощи. Выявлены следующие недостатки штатного ПО: несоответствие периода усреднения белорусским нормативам, невозможность получения данных с требуемым осреднением из-за закрытости дата-логгеров, отсутствие в разрабатываемом ПО необходимых механизмов проверки данных и необходимость интеграции с национальными системами РИСАМОС и АС Паветра.

Предложены методы решения выявленных проблем, основанные на разработке отечественного программного обеспечения, осуществляющего прямой опрос приборов в обход закрытых компонентов. Разрабатываемая система обеспечивает сбор данных, их валидацию, пересчет по фиксированным коэффициентам производителя, формирование 20-минутных средних и экспорт в целевые системы.

Практическая реализация предложенных методов позволит успешно интегрировать 13 новых пунктов наблюдений и 5 комплектов замены в действующую систему мониторинга, обеспечив их соответствие национальным нормативам.

Список литературы

1. *Всемирная организация здравоохранения. Загрязнение атмосферного воздуха [Электронный ресурс] : Информационный бюллетень. – 2022. – Режим доступа: https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health. – Дата доступа: 10.03.2026.*

2. *Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений. Газоанализаторы АРХА-370 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/4/items/395108. – Дата доступа: 11.03.2026.*

3. *Comde-Derenda. Air Pollution Monitor APM-2 [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.comde-derenda.com/en/products/apm-2/. – Date of access: 11.03.2026.*

4. *AMA Instruments. GC5000 Series Gas Chromatographs [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.ama-sensor.com/en/products/gc5000/. – Date of access: 11.03.2026.*

5. *ADVANTECH. ADAM-4000 Series User Manual. – Taipei : Advantech Co., 2008. – 312 p.*

6. *ГОСТ 17.2.3.01-86. Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов. – Введ. 01.01.1987. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 12 с.*

7. *Постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь № 103 от 30.06.2020 «Об утверждении санитарных норм и правил «Требования к атмосферному воздуху населенных пунктов»». – Минск, 2020. – 25 с.*

UDC 621.3.049.77–048.24:537.2

CONTROL OF MICROCONTROLLER UNDER THE INFLUENCE OF ELECTROSTATIC DISCHARGE

Novikov D.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Revinskaya I.I. – Senior Lecturer of the Department of EET

Annotation. The article examines the problems of air quality data collection that arise during the modernization of the observation network within the framework of international technical assistance projects. New equipment is supplied with software that does not meet the requirements of national regulatory documents regarding averaging periods and does not integrate with existing information systems. Methods for solving these problems are proposed, based on the development of domestic software adapted to local conditions, providing automatic data validation and their transmission to the RISAMOS and AS PAVETRA systems.

Keywords: air quality monitoring, international technical assistance, HORIBA gas analyzers, Derenda APM-2, data collection, RISAMOS, AS PAVETRA.

УДК 681.5.015:615.47

РАЗРАБОТКА ШПРИЦЕВОГО ВНУТРИВЕННОГО ИНФУЗИОННОГО НАСОСА

Сенкевич М.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Асиненко А.М. – ассистент кафедры ЭТТ

Аннотация. В статье рассмотрена разработка шприцевого внутривенного инфузионного насоса, предназначенного для дозированного введения лекарственных препаратов пациенту. Устройство реализовано на базе микроконтроллера и обеспечивает управление скоростью подачи раствора, контроль работы исполнительного механизма и индикацию режимов работы. Рассмотрены структура устройства, принцип функционирования и алгоритм работы системы управления. Предложенная модель позволяет повысить точность дозирования лекарственных средств и надежность работы медицинского оборудования.

Ключевые слова: инфузионный насос, микроконтроллер, медицинская техника, дозирование лекарственных средств, система управления

Введение. Современные медицинские технологии требуют высокой точности и надежности при введении лекарственных препаратов пациенту. Одним из наиболее распространенных устройств для дозированного введения растворов является шприцевой внутривенный инфузионный насос [2]. Данное устройство обеспечивает непрерывную и строго контролируемую подачу лекарственного средства в организм пациента с заданной скоростью [3].

Целью данной работы является разработка и анализ принципа работы шприцевого внутривенного инфузионного насоса с микроконтроллерным управлением.

Основная часть. Шприцевой инфузионный насос представляет собой медицинское устройство, предназначенное для медленного и контролируемого введения лекарственных препаратов в организм пациента [2]. Основными элементами системы являются: микроконтроллер; исполнительный механизм (шаговый двигатель); система управления скоростью подачи; индикатор отображения параметров работы; элементы управления (кнопки); звуковая сигнализация.

Функциональная структура устройства представлена на рисунке 1:

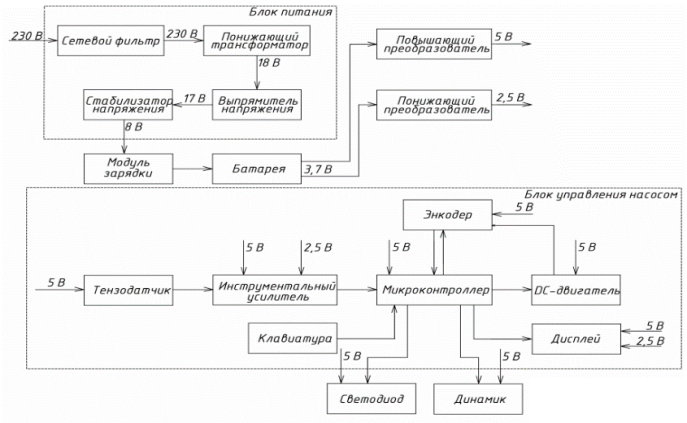


Рисунок 1 – Структурная схема шприцевого насоса

Микроконтроллер выполняет функции центрального управляющего элемента системы. Он осуществляет обработку сигналов с кнопок управления, формирует управляющие импульсы для шагового двигателя и контролирует режим работы устройства [4].

Исполнительный механизм приводит в движение поршень шприца, обеспечивая перемещение лекарственного раствора с заданной скоростью. Скорость движения определяется частотой управляющих импульсов, формируемых микроконтроллером [1].

Для управления скоростью инфузии используются кнопки выбора режима работы. В зависимости от выбранного режима микроконтроллер изменяет частоту вращения двигателя, что приводит к изменению скорости подачи раствора.

Алгоритм работы устройства можно представить следующим образом (рисунок 2).

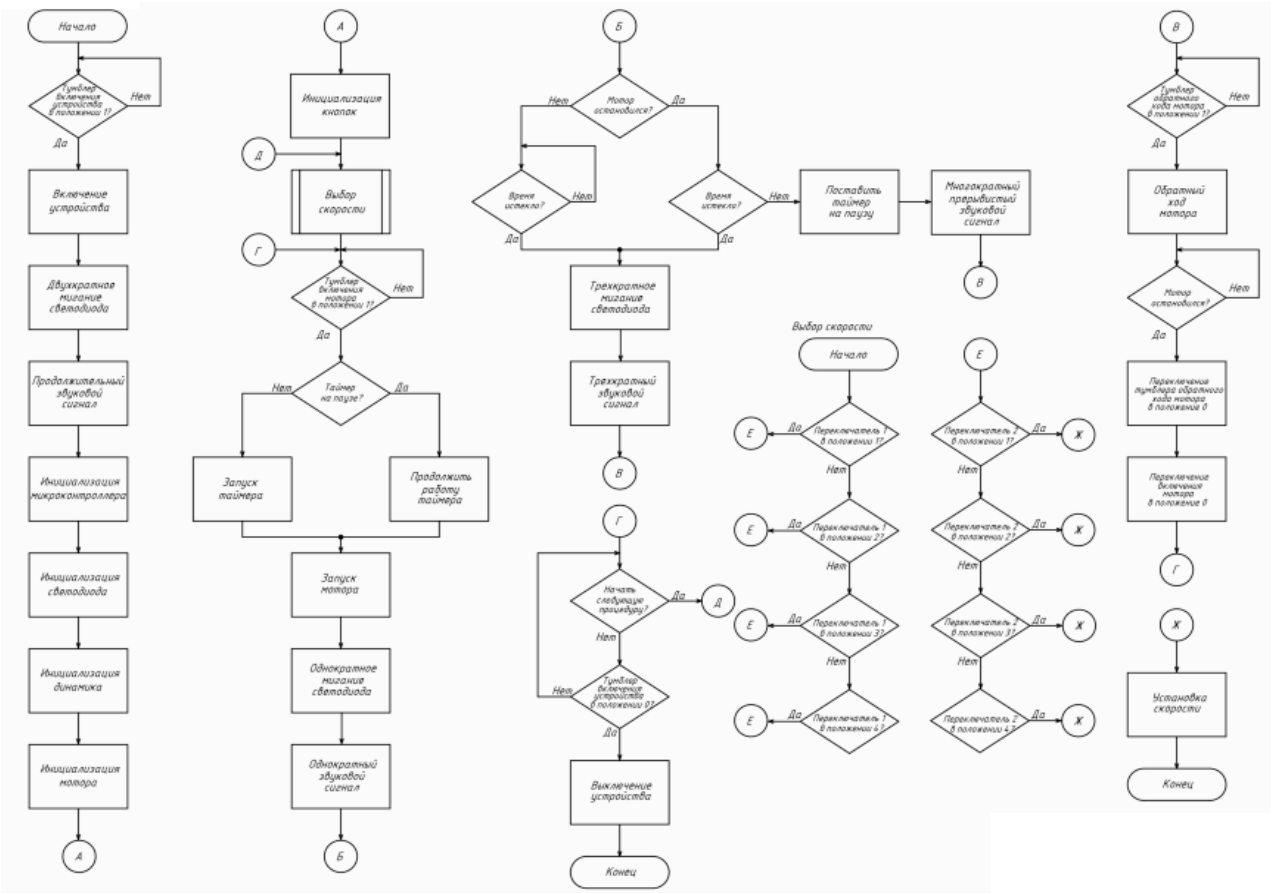


Рисунок 2 – Алгоритм работы инфузионного насоса

После включения устройства производится инициализация микроконтроллера и периферийных устройств. Далее пользователь выбирает необходимую скорость подачи лекарственного препарата. После подтверждения параметров микроконтроллер формирует последовательность управляющих сигналов для шагового двигателя, который начинает перемещение поршня шприца [3].

В процессе работы осуществляется постоянный контроль состояния системы. При возникновении ошибок (например, окончание раствора или блокировка механизма) формируется звуковой сигнал и работа устройства останавливается [4].

Использование микроконтроллерного управления позволяет реализовать дополнительные функции, такие как:

– программная регулировка скорости инфузии;

– контроль работы исполнительного механизма;

– индикация режимов работы устройства;

– звуковая сигнализация при возникновении аварийных ситуаций.

Заключение. В результате выполненной работы была разработана структурная модель шприцевого внутривенного инфузионного насоса на базе микроконтроллера. Предложенная система позволяет обеспечить точное дозирование лекарственных препаратов и автоматическое управление процессом инфузии.

Использование микроконтроллерной системы управления обеспечивает гибкость настройки параметров работы устройства, повышает надежность и безопасность эксплуатации медицинского оборудования. Разработанный подход может быть использован при создании современных медицинских инфузионных систем.

Список литературы

1. *Webster, J. Medical Instrumentation: Application and Design / J. Webster. – New York : Wiley, 2014. – 720 p.*
2. *Bronzino, J. Biomedical Engineering Handbook / J. Bronzino. – Boca Raton : CRC Press, 2015. – 1024 p.*
3. *Geddes, L. Medical Device Design / L. Geddes, L. Baker. – New York : Wiley, 2016. – 640 p.*
4. *Алексеев, В.Ф. Основы проектирования электронных медицинских устройств / В.Ф. Алексеев. – Минск : БГУИР, 2017. – 256 с.*

UDC 681.5.015:615.47

DEVELOPMENT OF A SYRINGE INTRAVENOUS INFUSION PUMP

Senkevich M.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Asinenko A.M. – Assistant Professor at the Department of Electronic Engineering and Technology

Annotation. This article discusses the development of a syringe-based intravenous infusion pump designed for the measured administration of medications to patients. The device is based on a microcontroller and provides control of the solution flow rate, actuator operation, and operating mode indication. The device's structure, operating principle, and control system algorithm are discussed. The proposed model improves the accuracy of drug dosing and the reliability of medical equipment.

Keywords: infusion pump, microcontroller, medical equipment, drug dosing, control system

УДК 615.47:614.48

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ И ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ПРЕДСТЕРИЛИЗАЦИОННОЙ ОЧИСТКИ

Важник М.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Асиненко А.М. – ассистент кафедры ЭТТ

Аннотация. В статье проведен анализ современных методов предстерилизационной очистки медицинского инструментария с акцентом на применение ультразвуковых технологий. Рассмотрены физические принципы акустической кавитации и ее влияние на эффективность удаления биологических загрязнений. Выполнен сравнительный анализ существующих на рынке технических решений, выявлены их основные достоинства и недостатки. Обоснована необходимость разработки отечественной микроконтроллерной ультразвуковой мойки, сочетающей высокую эффективность, безопасность и экономическую целесообразность.

Ключевые слова: ультразвуковая мойка, акустическая кавитация, предстерилизационная очистка, медицинская техника, микроконтроллерное управление, пьезоэлектрический излучатель.

Введение. Современные стандарты инфекционного контроля в медицинских учреждениях требуют безукоризненной подготовки хирургического, стоматологического и лабораторного инструментария перед его окончательной стерилизацией [1]. Ключевым этапом данной подготовки является предстерилизационная очистка (ПСО), цель которой заключается в полном удалении белковых, жировых и механических загрязнений, а также остатков лекарственных препаратов [2]. Традиционные методы ручной очистки с использованием щеток и моющих растворов характеризуются высокой трудоемкостью, риском травмирования персонала и недостаточной эффективностью при обработке инструментов сложной конфигурации (имеющих полости, замковые части, мелкую резьбу).

В связи с этим наиболее перспективным и технологичным методом признана автоматизированная ультразвуковая очистка [1]. Целью данной работы является анализ физических принципов работы ультразвуковых очистительных систем, обзор существующих на рынке решений и формирование требований к разработке перспективного устройства очистки с микроконтроллерным управлением.

Основная часть. В основе работы ультразвуковой мойки лежит явление акустической кавитации. Высокочастотные колебания, генерируемые пьезоэлектрическими излучателями, передаются в жидкую среду (моющий раствор), создавая в ней чередующиеся волны высокого и низкого давления. В фазе низкого давления в жидкости образуются микроскопические вакуумные пузырьки. В фазе высокого давления эти пузырьки стремительно схлопываются, порождая локальные гидродинамические удары огромной силы [3]. Именно эти микроскопические взрывы эффективно «отрывают» загрязнения от поверхности медицинского инструмента, проникая в самые труднодоступные микротрещины и полости.

Ключевым параметром, определяющим эффективность процесса, является рабочая частота ультразвукового генератора [3]. Низкие частоты (20-30 кГц) создают крупные кавитационные пузырьки с высокой энергией схлопывания, что оптимально для удаления грубых загрязнений с массивных инструментов. Более высокие частоты (35-45 кГц и выше) генерируют мелкие пузырьки, которые обеспечивают деликатную и бережную очистку хрупкого микрохирургического и стоматологического инструментария.

Анализ современного рынка медицинского оборудования показывает широкое разнообразие ультразвуковых ванн. Большинство коммерчески доступных устройств имеют схожую архитектурную концепцию, включающую резервуар из нержавеющей стали, блок пьезокерамических излучателей, высокочастотный генератор и блок управления [4].

Для оценки технических характеристик существующих устройств был проведен сравнительный анализ типовых представителей данного класса оборудования (таблица 1).

Таблица 1 – Сравнительный анализ технических характеристик современных ультразвуковых моек

Характеристика	Бюджетный сегмент (Китай)	(Китай) Средний сегмент (СНГ/РФ)	Премиум сегмент (Европа)
Рабочая частота	40 кГц	35 кГц	37 кГц / 80 кГц
Управление	Аналоговое / простое цифровое	Цифровое	Микроконтроллерное
Наличие нагрева	До 80°C (без точного контроля)	До 60°C (термостат)	Точный контроль до 70°C
Режим дегазации	Отсутствует	В некоторых моделях	Присутствует
Режим качания частоты	Отсутствует	Отсутствует	Присутствует
Ориентировочная стоимость	Низкая	Средняя	Высокая

Как видно из проведенного анализа, бюджетные модели, обладая низкой стоимостью, не обеспечивают необходимого функционала для полноценной медицинской очистки [2]. В частности, в них часто отсутствуют режимы дегазации (удаления растворенного в воде кислорода, снижающего эффективность кавитации) и режима качания частоты (Sweep-режим, необходимый для равномерного распределения ультразвукового поля и исключения «мертвых зон» в объеме ванны). С другой стороны, европейские аналоги премиум-класса обладают избыточной стоимостью и высокой сложностью технического обслуживания. В связи с этим возникает научно-техническая задача разработки отечественной ультразвуковой мойки, которая объединила бы в себе доступность элементной базы и продвинутые алгоритмы микроконтроллерного управления (наличие режимов Дегазации, Качания частоты, точного ПИД-регулирования температуры моющего раствора для предотвращения коагуляции белковых загрязнений) [4].

Заключение. Проведенный анализ показывает, что ультразвуковая очистка является безальтернативным методом качественной предстерилизационной подготовки медицинских инструментов сложной формы. Обзор существующих технических решений выявил наличие рыночного пробела между дешевыми бытовыми ваннами с ограниченным функционалом и дорогостоящими медицинскими комплексами зарубежного производства.

Использование микроконтроллерной системы управления обеспечивает гибкость настройки параметров работы устройства, повышает надежность и безопасность эксплуатации медицинского оборудования. Разработанный подход может быть использован при создании современных медицинских инфузионных систем.

Список литературы

1. *Webster, J. Medical Instrumentation: Application and Design / J. Webster. – New York : Wiley, 2014. – 720 p.*

2. *Bronzino, J. Biomedical Engineering Handbook / J. Bronzino. – Boca Raton : CRC Press, 2015. – 1024 p.*

3. *Хмелев, В.Н. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности / В.Н. Хмелев. – Бийск : Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. – 203 с.*

4. Алексеев, В.Ф. Основы проектирования электронных медицинских устройств / В.Ф. Алексеев. – Минск : БГУИР, 2017. – 256 с.

UDC 615.47:614.48

ANALYSIS OF MODERN METHODS AND TECHNICAL SOLUTIONS IN THE FIELD OF ULTRASONIC PRE-STERILIZATION CLEANING

Vazhnik M.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Asinenko A.M. – Assistant Professor at the Department of Electronic Engineering and Technology

Annotation. The article analyzes modern methods of pre-sterilization cleaning of medical instruments with an emphasis on the use of ultrasonic technologies. The physical principles of acoustic cavitation and its influence on the efficiency of biological contaminants removal are considered. A comparative analysis of existing technical solutions on the market is carried out, their main advantages and disadvantages are identified. The necessity of developing a domestic microcontroller-based ultrasonic cleaner that combines high efficiency, safety, and economic feasibility is substantiated.

Keywords: ultrasonic cleaner, acoustic cavitation, pre-sterilization cleaning, medical equipment, microcontroller control, piezoelectric transducer.

УДК 004.85:621.3.049.77

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ЛИТОГРАФИИ В МИКРОЭЛЕКТРОНИКЕ

Шульга А.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Мадвейко С.И. – к.т.н., доцент, зав. кафедрой ЭТТ

Аннотация. Фотолитография – один из ключевых этапов производства микросхем. Когда размеры элементов становятся меньше, начинают сильнее сказываться оптические искажения, и без вычислительной литографии уже не обойтись. В статье разбирается, как методы машинного обучения помогают настраивать параметры литографического процесса.

Ключевые слова: фотолитография, вычислительная литография, машинное обучение, нейронные сети, микроэлектроника.

Введение. Одним из самых сложных этапов в микроэлектронике является фотолитография, то есть перенос рисунка с фотошаблона на пластину. При прохождении света через шаблон и оптику, возникают дифракция, интерференция и прочие волновые эффекты, из-за которых картинка искажается и элементы могут получиться с большими погрешностями. Чтобы это компенсировать, инженеры из EDA-компаний (Synopsys, Cadence, Mentor Graphics) и производители чипов (Intel, TSMC) разработали вычислительную литографию – набор алгоритмических методов, активно развиваемых в полупроводниковой индустрии, позволяющих заранее корректировать и модернизировать форму фотошаблона. Этот подход требует большие вычислительные мощности и затраты по времени. Машинное обучение (ML – machine learning) перерабатывает огромные объёмы данных и находит в них закономерности, делает прогнозы с высокой точностью. Сейчас есть много готовых библиотек Python для машинного обучения, используемые для анализа данных, классификации, регрессии и создания нейросетей, таких как: TensorFlow, Keras, Scikit-learn, CatBoost, XGBoost. Они активно используются в промышленности для прогнозирования параметров, анализа процессов или контроля качества.

Основная часть. Фотолитография является основным методом литографии в микроэлектронике. Это процесс нанесения на пластину фоторезистора, который затем засвечивают через шаблон, проявляют и травят [2]. Так как разрешение ограничено длиной волны при уменьшении деталей проявляется эффект оптической близости – искажения топологического рисунка при фотолитографии, вызванные дифракцией света и рассеянием электронов, что приводит к скруглению углов, уменьшению размеров линий и замыканию элементов. Оно требует коррекции шаблонов для точного переноса изображения на полупроводниковую пластину. Для исправления используют коррекцию оптической близости – шаблон делают немного искажённым, чтобы после прохождения через оптику получить нужное изображение [1].

Цель ML научить программу делать выводы на основе данных в различных задачах: классификация, регрессия, кластеризация, поиск аномалий и так далее. В производстве электроники активно применяется ML. Например, позволяет предсказывать, сколько проработает компонент, находить бракованные экземпляры или группировать похожие элементы. Для этого используют различные алгоритмы: от простой регрессии до нейросетей. Анализ изображений микросхем является одним из направлений, в котором с помощью свёрточных нейросетей можно автоматически сравнивать элементы одной партии и выявлять отклонения. Кластеризация помогает понять, какие детали действительно являются одинаковыми, какие – нет [4].

В литографии для облегчения и упрощения работы можно обучить нейросеть предсказывать результат экспонирования. Например, подача на входе разных вариантов шаблонов и анализ данных на выходе. Результаты показали, что использование нейронных сетей позволяет ускорить расчет фотошаблонов примерно в 100 раз при сохранении точности в 92% [5]. Это особенно важно, когда нужно быстро рассмотреть множество вариантов или встроить расчёты в автоматизированную систему проектирования.

Современные фабрики собирают большой объём информации о каждом этапе производства. Вручную это всё не проанализируешь, а алгоритмы эффективно анализируют. Они могут найти скрытые закономерности, которые помогут улучшить процесс или повысить качество. Также машинное обучение хорошо справляется с нелинейными зависимостями. В литографии много таких зависимостей, и аналитическими формулами её описать проблематично. В дальнейшем машинное обучение будет всё глубже встраиваться в систему автоматизированного проектирования и системы автоматического контроля. Например, компьютерное зрение уже сейчас демонстрирует высокую точность с поиском дефектов на пластинах, а с развитием методов будет работать ещё точнее.

Заключение. Данное направление перспективно развивается. Машинное обучение даёт возможность ускорить расчёты, повысить точность и корректно использовать данные с производства. Эти методы применяются для анализа качества компонентов, поиска дефектов и автоматизации контроля. Возможность быстрой аппроксимации сложных зависимостей делает эти методы перспективными для оптимизации литографических процессов в микроэлектронике.

Список литературы

1. *Computation lithography: virtual reality and virtual virtuality [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://opg.optica.org/oe/fulltext.cfm?uri=oe-17-15-12259. Дата доступа: 06.03.2026.*

2. *Литографические методы формирования структур [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://physics42.ru/tutorials/metamaterialy/litograficheskie-metody-formirovaniya-struktur/. Дата доступа: 06.03.2026.*

3. *Электронная вычислительная техника [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://computer-museum.ru/books/sbornik_EVT_1987.pdf#page=19. Дата доступа: 06.03.2026.*

4. *Нанотехнологии в сфере микроэлектроники [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://elibrary.udsu.ru/xmlui/bitstream/handle/123456789/21665/161.pdf?sequence=1. Дата доступа: 06.03.2026.*

5. *Исследование эффективности применения различных архитектур нейросетей в расчете маски в задаче инверсной фотолитографии [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.t-niisi.ru/jour/article/view/24. Дата доступа: 06.03.2026.*

UDC 004.85:621.3.049.77

APPLICATION OF MACHINE LEARNING METHODS FOR OPTIMIZING LITHOGRAPHY PROCESSES IN MICROELECTRONICS

Shulga A.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Madveika S.I. – Cand. Of Sci., associate professor, head of the department of EET

Annotation. Photolithography is one of the key stages in microchip production. As elements become smaller, optical distortions begin to have a greater impact, and computational lithography becomes indispensable. This article examines how machine learning methods help to adjust the parameters of the lithography process.

Keywords: photolithography, computational lithography, machine learning, neural networks, microelectronics, process optimization

УДК 621.3.095.3

УДАЛЕНИЕ ФОТОРЕЗИСТА В ПЛАЗМЕ СВЧ С ПЛАСТИН БОЛЬШИХ ПЛОЩАДЕЙ

Масейкова Д.Д.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Мадвейко С.И.. – к.т.н., доцент, зав. кафедры ЭТТ

Аннотация. Экспериментально и теоретически рассмотрен процесс удаления фоторезиста с поверхности полупроводниковых пластин больших площадей в условиях микроволновой плазмы. Показано, что равномерность очистки определяется распределением плотности плазмы, параметрами СВЧ-излучения и температурными условиями обработки. Предложены подходы к оптимизации параметров плазменного разряда и конструкции реактора, позволяющие повысить однородность удаления фоторезиста при обработке крупноформатных подложек.

Ключевые слова: фоторезист, СВЧ-плазма, плазменная обработка, полупроводниковые пластины.

Введение. Современное развитие микроэлектроники связано с ростом требований к миниатюризации и производительности интегральных схем. Этап удаления фоторезиста играет особую роль. Остатки фоторезиста могут снизить точность формирования топологии и надежность полупроводниковых устройств. При обработке пластин диаметром более 300 мм в СВЧ-плазменных установках возникает проблема неравномерного удаления фоторезиста. В результате появляются дефекты и увеличивается количество бракованных изделий.

В данной статье рассматриваются параметры плазменного разряда и предлагаются подходы к оптимизации процесса, что поможет улучшить равномерность удаления фоторезиста на подложках больших площадей.

Основная часть. Микроволновая плазма характеризуется высокой энергией электронов (1-10 эВ) при относительно низкой температуре тяжёлых частиц. Плотность заряженных частиц в таком разряде обычно составляет 10^{10}-10^{12} $см^{-3}$, что обеспечивает интенсивное взаимодействие с обрабатываемой поверхностью. Степень ионизации газа варьируется от 10^{-6} до 10^{-2} в зависимости от мощности СВЧ-излучения и давления в камере. Эти параметры определяют реакционную способность плазмы и её эффективность при удалении фоторезиста [1].

Генерация плазмы в СВЧ-поле происходит преимущественно за счёт безударного механизма поддержания разряда, где электроны эффективно нагреваются в переменном электрическом поле. Основным механизмом удаления фоторезиста в кислородсодержащей плазме является окислительный распад его органических компонентов. Атомарный кислород (O) и озоновые радикалы (O_3), генерируемые в плазме, атакуют углерод-углеродные и углерод-водородные связи полимерной матрицы, что приводит к разрыву длинных цепей и образованию низкомолекулярных соединений, таких как CO, CO_2 и H_2O. Летучие продукты реакции удаляются из зоны обработки потоком газа, обеспечивая постепенное истончение фоторезистного слоя. Параллельно с химическим окислением значительную роль играет физическое распыление продуктов деградации под действием ионной бомбардировки. Ускоренные в плазменном разряде ионы кислорода (O_2^+) и аргона (Ar^+) передают кинетическую энергию поверхности, разрушая ослабленные окислением участки [2].

Роль СВЧ-излучения в генерации плазмы. Однородность плазменного разряда при удалении фоторезиста напрямую определяется параметрами микроволнового излучения. Частота СВЧ-поля влияет на глубину скин-слоя и распределение энергии в плазме, что критично для обработки больших площадей. Мощность генератора определяет плотность электронов и радикалов, участвующих в химических реакциях удаления фоторезиста. Режим модуляции (импульсный или непрерывный) позволяет контролировать тепловую нагрузку на подложку, предотвращая локальные перегревы.

Геометрические параметры реактора оказывают существенное влияние на пространственное распределение плазменного поля. Конфигурация камеры обработки

определяет характер распространения электромагнитных волн и формирование стоячих волн. В реакторах цилиндрической формы наблюдается аксиально-симметричное распределение плотности плазмы, тогда как прямоугольные конструкции способствуют формированию неоднородностей в угловых зонах. Размеры рабочей области напрямую влияют на степень равномерности плазменного покрытия подложки.

Расположение СВЧ-излучателей относительно обрабатываемой подложки является критическим фактором равномерности генерации плазмы. Симметричная компоновка излучателей по периметру камеры способствует формированию однородного плазменного слоя. Система подачи реакционного газа с оптимизированной сеткой распределительных форсунок обеспечивает равномерное смешивание реагентов по всей площади пластины. Комбинированное воздействие этих факторов определяет стабильность параметров плазмы в приповерхностной зоне [3].

Материалы внутренних поверхностей реактора существенно влияют на локальную плотность активных частиц. Металлические стенки с высокой степенью отражения СВЧ-волн способствуют формированию стоячих волн и неравномерному распределению энергии. Диэлектрические покрытия уменьшают рекомбинацию заряженных частиц, но могут создавать зоны с повышенной концентрацией радикалов. Эти эффекты приводят к образованию пространственных неоднородностей в плазменном слое над обрабатываемой поверхностью.

Мощность СВЧ-излучения является ключевым параметром, определяющим плотность генерируемой плазмы. Повышение мощности приводит к увеличению концентрации активных частиц в плазменном объеме, что напрямую влияет на скорость удаления фоторезиста. Однако чрезмерное увеличение мощности может вызвать локальный перегрев подложки и деградацию её поверхностных свойств. Оптимальный диапазон мощностей обеспечивает баланс между высокой скоростью обработки и сохранением структурной целостности пластины.

Частота микроволнового излучения существенно влияет на глубину скин-слоя и пространственное распределение энергии в плазме. При стандартной частоте 2,45 ГГц наблюдается более выраженное поверхностное поглощение энергии, тогда как более высокие частоты обеспечивают лучшее проникновение в объем реактора. Это свойство позволяет управлять профилем плотности плазмы, что особенно важно для равномерной обработки пластин больших площадей. Выбор частоты должен учитывать геометрические параметры реактора и требуемую глубину взаимодействия.

Стабильность параметров СВЧ-генератора критически важна для поддержания однородной плотности плазмы на протяженных подложках. Колебания мощности или частоты приводят к пространственно-временным неоднородностям в плазменном разряде, что проявляется в виде зон с разной скоростью удаления фоторезиста. Особенно чувствительны к этим изменениям периферийные области пластин, где возможны эффекты краевого ослабления поля. Системы автоматической стабилизации параметров генератора минимизируют эти отклонения, обеспечивая технологическую воспроизводимость процесса [4].

Локальные перепады температуры на поверхности пластины создают значительные вариации в скорости удаления фоторезиста. Это связано с температурной зависимостью кинетики химических реакций между активными частицами плазмы и полимерным материалом. В зонах с повышенной температурой скорость реакций окисления возрастает экспоненциально, что приводит к ускоренному удалению фоторезиста [5].

Данный эффект особенно критичен на краях пластины, где наблюдаются максимальные градиенты из-за особенностей теплопередачи в системе.

Термические напряжения, возникающие из-за неравномерного нагрева подложки, способствуют образованию структурных дефектов. Разница коэффициентов теплового расширения между фоторезистом и материалом подложки усиливает механические напряжения в пограничных слоях. При превышении предела прочности это приводит к микротрещинам и расслоению материалов, что особенно проявляется при обработке пластин диаметром более 300 мм. Указанные дефекты снижают выход годных изделий и требуют дополнительных мер по контролю температурного поля.

Физические принципы плазменного травления лежат в основе обеспечения равномерности удаления фоторезиста на больших площадях. Ключевым аспектом является достижение однородного распределения активных частиц плазмы по всей поверхности

обрабатываемой пластины, что требует точного контроля параметров плазменного разряда, включая плотность электронов, температуру и состав реакционной среды. Особую роль играет синхронизация скорости химических реакций на границе раздела плазма-фоторезист с равномерностью подвода энергии СВЧ-излучения [6].

Модификация формы и взаимного расположения электродов позволяет достичь более равномерного распределения СВЧ-поля в рабочей камере, что обеспечивает гомогенность плазменного слоя по всей поверхности обрабатываемой подложки, данный аспект является критически важным для устранения пространственных вариаций скорости удаления фоторезиста. Внедрение асимметричных конфигураций электродной системы способствует компенсации краевых эффектов и повышению воспроизводимости процесса [7].

Заключение. Анализ показывает, что равномерное удаление фоторезиста критически важно для полупроводниковой промышленности, особенно при обработке пластин диаметром более 300 мм. Увеличение спроса на высокопроизводительные интегральные схемы требует минимизации дефектов подложек и отходов, что связано с качеством плазменной очистки. Исследование выявило множество причин неравномерности обработки, включая геометрию реакторов и температурные градиенты. Оптимизация плазменных установок, включая распределение СВЧ-поля и многоуровневый температурный контроль, может повысить равномерность обработки. Разработанные рекомендации создают основу для масштабирования технологии плазменной очистки, что может снизить брак и себестоимость, соответствуя требованиям к миниатюризации и производительности электронных компонентов.

Список литературы

1. *Бордусов С.В. Высокоскоростное удаление фоторезистивных пленок в послесвечении СВЧ разряда в кислороде // Электронная обработка материалов. – 2001. – №6. – С. 80–83.*
2. *Бордусов С.В. СВЧ-плазменные процессы в микроэлектронной технологии // Электронная обработка материалов. – 2001. – №3. – С. 72–78.*
3. *Достанко А.П., Русецкий А.М., Бордусов С.В. и др. Электрофизические процессы и оборудование в технологии микро- и наноэлектроники. – Минск: Бестпринт, 2011. – 210 с.*
4. *Симонов О. Использование микроволновой плазмы для удаления фоторезиста при групповой обработке полупроводниковых пластин // Технологии. – 2017. – №2. – С. 180–184.*
5. *Хамицевич Е.Ю., Лушакова М.С., Бордусов С.В. Вакуумно-плазменные системы двухчастотных разрядов для технологического применения // 54-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. – Минск, 2018. – С. 194–195.*
6. *Яфаров Р.К., Климова С.А. Влияние свч плазменной микрообработки на электронные свойства поверхности кристаллов кремния (100) // Журнал технической физики. – 2014. – №3. – С. 103–107.*
7. *Bahena J.A., Tyler P., Taddei J. и др. An evaluation of bath life effects on photoresist removal for wafer level packaging // IMAPS 2022 - 55th International symposium on microelectronics. – Boston, MA, 2022. – С. 1–5.*

UDC 621.3.095.3

MICROWAVE PLASMA PHOTORESIST REMOVAL FROM LARGE-AREA WAFERS

Maseikova D.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Madveiko S.I.. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of EET

Annotation. The process of removing photoresist from the surface of large-area semiconductor wafers under microwave plasma conditions is examined experimentally and theoretically. It is shown that the uniformity of removal is determined by the plasma density distribution, microwave radiation parameters, and processing temperature conditions. Approaches to optimizing plasma discharge parameters and reactor design are proposed, allowing for improved photoresist removal uniformity during processing of large-format wafers.

Keywords: photoresist, microwave plasma, plasma processing, semiconductor wafers.

УДК 611.91

ОБЗОР МЕТОДОВ СЕГМЕНТАЦИИ МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Смольская Т.С., Друц Э.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Камлач П.В.. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ЭТТ

Аннотация. В статье представлен обзор современных методов сегментации медицинских изображений, применяемых при обработке данных компьютерной томографии. Рассмотрены классические алгоритмы сегментации, методы машинного обучения, а также современные нейросетевые архитектуры, используемые для выделения анатомических структур на медицинских изображениях. Проведен анализ преимуществ и ограничений различных подходов, а также рассмотрены перспективные направления применения методов глубокого обучения для автоматизации процесса сегментации и повышения точности построения трёхмерных моделей анатомических структур.

Ключевые слова: медицинские изображения, сегментация изображений, компьютерная томография, височная кость, среднее ухо, нейронные сети, глубокое обучение.

Введение. Современные методы медицинской визуализации играют ключевую роль в диагностике и лечении различных заболеваний. Одним из наиболее распространённых методов исследования костных структур является компьютерная томография (КТ).

Одной из важных задач обработки медицинских изображений является сегментация – процесс выделения отдельных анатомических структур на изображении [1]. Традиционно для решения задачи сегментации применялись классические методы обработки изображений, однако в последние годы значительное развитие получили методы машинного обучения и глубокого обучения, основанные на применении нейронных сетей. Особенно широкое распространение в медицинской визуализации получили сверточные нейронные сети (Convolutional Neural Networks, CNN), позволяющие автоматически извлекать признаки изображений и выполнять сегментацию с высокой точностью. Архитектуры семейства U-Net и их модификации стали стандартом в задачах сегментации медицинских изображений. Также активно развиваются трехмерные модели и гибридные архитектуры, сочетающие сверточные сети и механизмы внимания.

Несмотря на значительные успехи в данной области, задача сегментации медицинских изображений, особенно содержащих мелкие анатомические структуры, остаётся актуальной и требует дальнейших исследований [2].

Целью данной работы является обзор современных методов сегментации медицинских изображений и анализ их применимости для обработки данных компьютерной томографии.

Основная часть. Медицинские изображения обладают рядом особенностей, которые существенно усложняют задачу их автоматической обработки. К таким особенностям относятся наличие шумов, низкий контраст между различными типами тканей, а также высокая вариабельность анатомических структур у разных пациентов. Кроме того, медицинские изображения часто содержат артефакты, возникающие в процессе сканирования.

Компьютерная томография широко применяется для исследования костных структур, включая височную кость и анатомические структуры среднего и внутреннего уха. КТ позволяет получать высокодетализированные послойные изображения, однако даже при высоком разрешении выделение мелких анатомических объектов может представлять значительные трудности.

Сегментация медицинских изображений представляет собой процесс разделения изображения на области, соответствующие различным анатомическим структурам. Результаты сегментации используются при построении трёхмерных моделей органов, планировании хирургических вмешательств, разработке медицинских имплантов и проведении количественного анализа анатомических структур.

Особую сложность представляет сегментация малых анатомических объектов, характерных для области среднего и внутреннего уха. Такие структуры имеют небольшие размеры, сложную форму и часто располагаются в непосредственной близости друг от друга, что требует применения высокоточных методов обработки изображений.

До широкого распространения методов машинного обучения сегментация медицинских изображений осуществлялась с использованием классических алгоритмов обработки изображений [3].

Одним из наиболее простых подходов является пороговая сегментация, при которой выделение объектов производится на основе значения интенсивности пикселей. Данный метод отличается простотой реализации, однако его применение ограничено в случаях, когда различные ткани имеют схожие значения интенсивности [4].

К другой группе методов относятся алгоритмы, основанные на выделении границ объектов. Эти методы используют различные операторы обнаружения границ, позволяющие определить контуры анатомических структур. Однако они чувствительны к шумам и не всегда обеспечивают точное выделение сложных форм.

Также применяются методы кластеризации, например алгоритм k-means, который позволяет группировать пиксели изображения по сходству их характеристик. Подобные методы могут использоваться для предварительного разделения изображения на области, однако требуют дополнительной обработки для получения точных границ структур.

Для сегментации медицинских изображений также используются методы активных контуров и уровневых множеств. Эти методы позволяют более точно учитывать форму объектов, однако их применение часто требует значительных вычислительных ресурсов и настройки параметров.

Несмотря на широкое распространение классических методов, их эффективность при обработке сложных медицинских изображений ограничена, что привело к активному развитию методов машинного обучения.

В последние годы для сегментации медицинских изображений активно применяются методы глубокого обучения. Наибольшее распространение получили сверточные нейронные сети, которые позволяют автоматически извлекать информативные признаки из изображений.

Одной из наиболее известных архитектур является U-Net, предложенная для задач биомедицинской сегментации [5]. Данная архитектура имеет симметричную структуру типа «кодировщик-декодировщик». Кодировщик выполняет извлечение признаков изображения, постепенно уменьшая его пространственное разрешение, а декодировщик восстанавливает изображение, формируя карту сегментации.

Важной особенностью архитектуры U-Net является использование так называемых skip-соединений, которые позволяют передавать информацию между соответствующими уровнями кодировщика и декодировщика. Это позволяет сохранять пространственные детали изображения и повышает точность сегментации.

С момента появления U-Net было предложено большое количество её модификаций, направленных на повышение точности сегментации и улучшение обработки сложных медицинских изображений [6].

Медицинские томографические данные, получаемые с помощью компьютерной томографии и магнитно-резонансной томографии, представляют собой трёхмерные объемные изображения. В связи с этим всё большее распространение получают методы трёхмерной сегментации.

Одним из наиболее известных подходов является архитектура 3D U-Net, которая представляет собой расширение классической U-Net для работы с трёхмерными данными. В данной архитектуре используются трехмерные свёртки, позволяющие учитывать пространственные связи между соседними срезами томографического изображения [7]

Использование трёхмерных моделей позволяет более точно учитывать форму анатомических структур и их пространственное расположение. Однако такие модели требуют значительно больших вычислительных ресурсов и объёмов обучающих данных.

В последние годы активно развиваются гибридные модели, объединяющие преимущества сверточных нейронных сетей и механизмов внимания. Одним из таких

направлений является использование трансформеров в задачах сегментации медицинских изображений.

Архитектуры на основе трансформеров позволяют более эффективно учитывать глобальные зависимости между различными областями изображения. Примером таких моделей являются UNETR и Swin-UNet, которые демонстрируют высокие результаты при сегментации сложных медицинских изображений.

Использование механизмов внимания позволяет модели автоматически определять наиболее важные области изображения и концентрировать на них вычислительные ресурсы, что повышает точность сегментации.

Анализ существующих методов сегментации показывает, что классические алгоритмы обработки изображений обладают рядом ограничений и часто не обеспечивают необходимой точности при обработке сложных медицинских данных.

Методы глубокого обучения, основанные на сверточных нейронных сетях, демонстрируют значительно более высокие результаты. Архитектуры семейства U-Net стали одним из наиболее распространённых инструментов сегментации медицинских изображений благодаря их эффективности и относительной простоте реализации.

Современные трёхмерные и гибридные модели позволяют учитывать пространственную структуру данных и обеспечивают более точное выделение анатомических объектов. В то же время такие модели требуют значительных вычислительных ресурсов и большого объёма обучающих данных.

В связи с этим выбор архитектуры нейронной сети для конкретной задачи сегментации должен учитывать особенности исходных данных, размеры анатомических структур и доступный объём обучающей выборки.

Итоговые результаты сравнительного анализа архитектур нейронных сетей для сегментации структур среднего и внутреннего уха по данным КТ представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительный анализ архитектур нейронных сетей для сегментации структур среднего и внутреннего уха по данным КТ

Группы методов	Представители	Преимущества	Недостатки
Классические методы	– пороговые; – методы, основанные на выделении границ; –региональные методы; –кластеризационные методы; – графовые и вариационные методы	– простота реализации; – низкие вычислительные затраты; – интерпретируемость результатов	– чувствительность к шуму; – ручная настройка; – низкая устойчивость к вариативности анатомии; – сложность работы с 3D
Сверточные нейронные сети (CNN)	FCN	– автоматическое извлечение признаков; – высокая точность	– потеря мелких деталей при downsampling
Полносверточная нейронная сеть с модификацией	U-Net	– сохранение деталей (пропускные соединения); – хорошая работа при малых выборках данных; –простота реализации	– сегментация по отдельным срезам может приводить к разрывам структуры в 3D; – риск переобучения
Сверточные нейронные сети U-Net с модификациями	ResU-Net, Dense U-Net	– улучшенная передача градиента; – более глубокие модели; – устойчивость к переобучению	– повышенная сложность разработки

Продолжение таблицы 1

Группы методов	Представители	Преимущества	Недостатки
	Attention U-Net	– фокусировка на релевантных областях; – лучшее выделение малых структур	– требуются дополнительные параметры; – усложнение обучения
	3D U-Net	– учет пространственной структуры; – целостность анатомии	– высокие требования к оборудованию
Гибридные CNN-Transformer модели	TransUNet, UNet++	– учет глобального контекста и локальных признаков; – высокая точность	– сложность реализации; – необходимость больших данных

Заключение. В данной работе был проведён обзор современных методов сегментации медицинских изображений. Рассмотрены классические алгоритмы обработки изображений, а также современные подходы, основанные на применении методов машинного обучения и глубокого обучения.

Проведённый анализ показал, что традиционные методы сегментации обладают рядом ограничений и не всегда обеспечивают необходимую точность при обработке сложных медицинских данных. В последние годы наибольшую эффективность демонстрируют методы, основанные на использовании сверточных нейронных сетей, в частности архитектуры семейства U-Net и их модификации.

Результаты проведённого обзора могут быть использованы при выборе архитектуры нейронной сети для решения задачи сегментации структур среднего и внутреннего уха на данных компьютерной томографии, а также при разработке методов автоматизированного построения трёхмерных моделей анатомических объектов.

Список литературы

1. *Litjens G., Kooi T., Bejnordi B. et al. A survey on deep learning in medical image analysis // Medical Image Analysis. – 2017. – Vol. 42. – P. 60–88.*

2. *Shen D., Wu G., Suk H. I. Deep learning in medical image analysis // Annual Review of Biomedical Engineering. – 2017. – Vol. 19. – P. 221–248.*

3. *Pham D. L., Xu C., Prince J. L. Current methods in medical image segmentation // Annual Review of Biomedical Engineering. – 2000. – Vol. 2. – P. 315–337.*

4. *Heimann T., Meinzer H. P. Statistical shape models for 3D medical image segmentation: a review // Medical Image Analysis. – 2009. – Vol. 13(4). – P. 543–563.*

5. *Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation // Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI). – 2015. – P. 234–241.*

6. *Zhou Z., Siddiquee M. M. R., Tajbakhsh N., Liang J. UNet++: A Nested U-Net Architecture for Medical Image Segmentation // Deep Learning in Medical Image Analysis. – 2018. – P. 3–11.*

7. *Çiçek Ö., Abdulkadir A., Lienkamp S. S., Brox T., Ronneberger O. 3D U-Net: Learning Dense Volumetric Segmentation from Sparse Annotation // MICCAI. – 2016. – P. 424–432.*

UDC 611.91

A REVIEW OF MEDICAL IMAGE SEGMENTATION METHODS

Smolskaya T.S., Druts E.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Kamlach P.V. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ETT

Annotation. This article presents an overview of modern medical image segmentation methods applied in the processing of computed tomography data. The paper examines classical segmentation algorithms, machine learning techniques, and modern neural network architectures used for delineating anatomical structures in medical images. An analysis of the advantages and limitations of various approaches is conducted, and promising directions for applying deep learning methods to automate the segmentation process and enhance the accuracy of constructing three-dimensional models of anatomical structures are discussed.

Keywords: medical images, image segmentation, computed tomography, temporal bone, middle ear, neural networks, deep learning.

УДК 004.9:159.9.072

ПСИХОДИАГНОСТИЧЕСКОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕСТИРОВАНИЯ, ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ И ОЦЕНКИ ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА

Гоман В.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Дик С.К. – к.ф.-м.н., доцент, заведующий кафедры ИКГ

Аннотация. В статье рассматривается разработка программного приложения для проведения психодиагностического тестирования в цифровой среде. В работе анализируются особенности компьютерной психодиагностики и возможности интеграции нескольких диагностических методик в единый программный комплекс. В приложении реализованы тест «Reading the Mind in the Eyes» (RMET), метод портретных выборов Сонди, восьмицветовой тест Люшера и тест цветовых отношений Фрилинга. Предложена модульная архитектура программного обеспечения, позволяющая обеспечить проведение тестирования, автоматическую обработку результатов и их сохранение.

Ключевые слова: психодиагностика, программное обеспечение, психологическое тестирование, RMET, тест Люшера, тест Сонди, Python

Введение. Современное развитие информационных технологий оказывает заметное влияние на многие области науки и практики, включая психологическую диагностику. Традиционные формы проведения тестирования постепенно уступают место компьютерным системам, которые позволяют ускорить обработку данных и повысить точность получаемых результатов. Использование программных средств позволяет автоматизировать расчёт показателей, снизить вероятность ошибок и обеспечить единые условия проведения тестирования для всех испытуемых.

Целью данной работы является разработка программного приложения для проведения психодиагностического тестирования, объединяющего несколько методик и обеспечивающего автоматическую обработку результатов.

Основная часть. Теоретические основы компьютерной психодиагностики. Компьютерная психодиагностика представляет собой направление, связанное с применением информационных технологий для проведения психологических тестов и анализа полученных данных. Одним из преимуществ таких систем является стандартизация процедуры тестирования. Автоматизация обработки результатов снижает вероятность ошибок и позволяет значительно ускорить процесс получения итоговых показателей.

Используемые психодиагностические методики. В разработанном приложении реализованы несколько психодиагностических методик, позволяющих оценить различные аспекты личности и эмоционального состояния. Тест Reading the Mind in the Eyes (RMET) направлен на оценку способности распознавать эмоциональные состояния по выражению глаз. Метод портретных выборов Сонди относится к проективным методам исследования личности. Восьмицветовой тест Люшера используется для оценки эмоционального состояния на основе цветовых предпочтений. Тест Фрилинга применяется для анализа эмоционального отношения человека к различным сферам жизни.

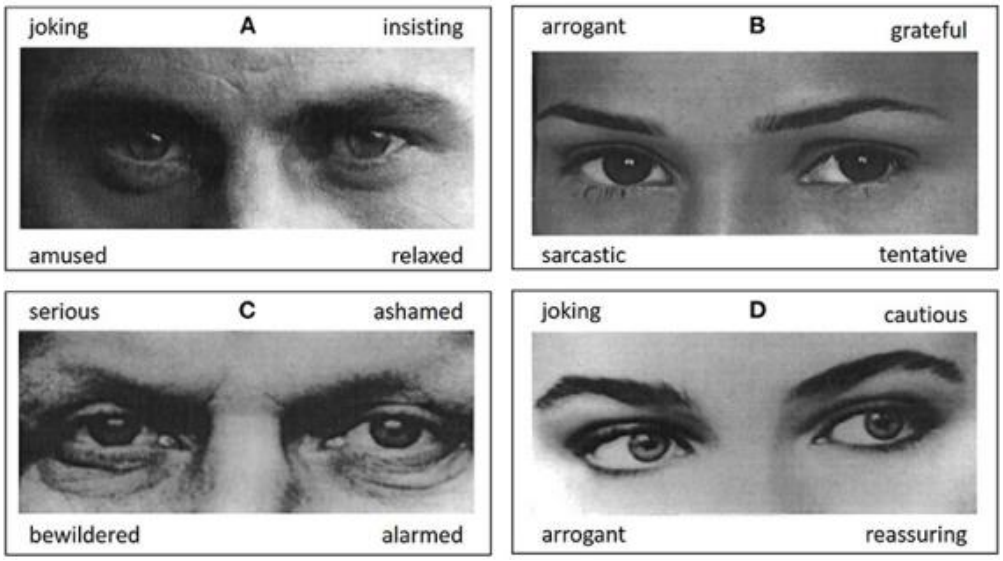


Рисунок 1 – Пример стимульного материала теста Reading the Mind in the Eyes (RMET)



Рисунок 2 – Пример стимульного материала метода портретных выборов Сонди



Рисунок 3 – Пример интерфейса восьмицветового теста Люшера

Архитектура и реализация приложения. Приложение разработано на языке Python с использованием библиотеки Tkinter для создания графического интерфейса пользователя.

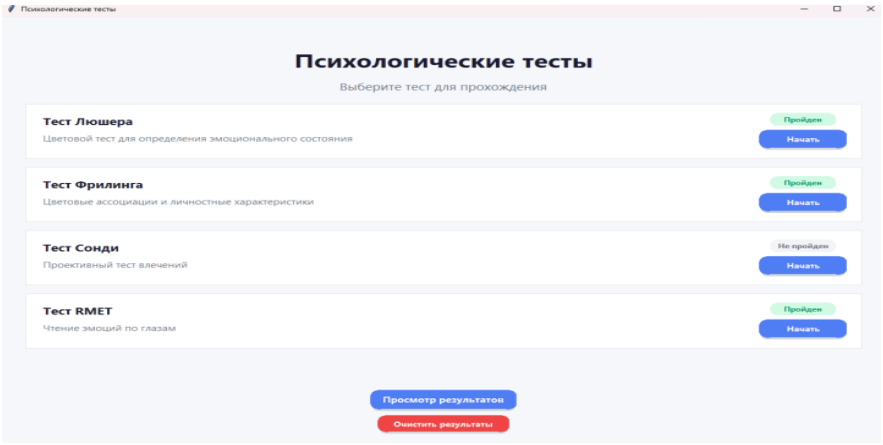


Рисунок 4 – Главное окно разработанного приложения для психодиагностического тестирования

Архитектура системы построена по модульному принципу. Каждый тест реализован как отдельный программный модуль. Для хранения результатов используется формат JSON, что обеспечивает простоту сохранения и последующей обработки данных.

Заключение. В результате выполнения работы разработано программное приложение для проведения психодиагностического тестирования. Программа объединяет несколько психологических методик и обеспечивает автоматическую обработку результатов. Модульная архитектура приложения позволяет расширять функциональность и добавлять новые тесты.

Список литературы

1. *Трухан Е.А. Основы психодиагностики. – Минск : БГУ, 2014.*
2. *Вассерман Л.И. Компьютерная психодиагностика в теории и практике медицинской психологии. – СПб., 2021.*
3. *Baron-Cohen S. Another advanced test of theory of mind // Journal of Child Psychology and Psychiatry. – 1997.*
4. *Denzin N.K. The Research Act: A Theoretical Introduction to Sociological Methods. – New York, 1978.*

UDC 004.9:159.9.072

PSYCHODIAGNOSTIC APPLICATION FOR AUTOMATING TESTING, PROCESSING RESULTS AND ASSESSING HUMAN PSYCHOLOGICAL STATE

Goman V.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Dik S.K. – Cand. of Sci.(Phys. and Math.), associate professor, Head of the Department of engineering and computer graphics

Annotation. The article discusses the development of a software application for psychodiagnostic testing in a digital environment. The paper analyzes the features of computer psychodiagnostics and the possibilities of integrating several diagnostic techniques into a single software package. The application implements the «Reading the Mind in the Eyes» test (RMET), the Szondi test, the eight-color Luscher test, and the Frieling color test. A modular software architecture is proposed, which allows for testing, automatic processing of results, and their storage.

Keywords: psychodiagnostics, software, psychological testing, RMET, Luscher test, Szondi test, Python.

УДК 621.372.543.2

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ВНЕПОЛОСНОГО ПОДАВЛЕНИЯ КОМПАКТНЫХ ВХОДНЫХ ПОЛОСОВЫХ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ БЕСПРОВОДНЫХ И IoT-УСТРОЙСТВ

Марченко Т.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Мадвейко С.И. – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой ЭТТ

Аннотация. Рассмотрены основные методы повышения внеполосного подавления компактных входных полосовых фильтров, применяемых в беспроводных приёмниках и устройствах Интернета вещей. Пояснено назначение внеполосного подавления и кратко описаны методы, основанные на применении открытых шлейфов и нагруженных резонаторов, смешанной электрической и магнитной связи, многопутевых многослойных структур и дефектной структуры земли. Выполнено сравнительное сопоставление указанных подходов по уровню избирательности, сложности реализации и применимости в малогабаритных устройствах.

Ключевые слова: входной полосовой фильтр, внеполосное подавление, нули передачи, беспроводный приёмник, IoT, компактный фильтр.

Введение. Входной полосовой фильтр является одним из основных узлов приёмного тракта беспроводного устройства. Он предназначен для выделения полезной полосы частот и ослабления сигналов, расположенных вне неё. Такое ослабление называют внеполосным подавлением. Его наличие необходимо для уменьшения влияния соседних каналов, паразитных излучений и мощных внеполосных помех на последующие каскады приёмника, в первую очередь на малошумящий усилитель, смеситель и цепи обработки сигнала [1].

Актуальность повышения внеполосного подавления особенно велика для беспроводных приёмников и устройств Интернета вещей, поскольку такие устройства работают в условиях плотного спектрального окружения, а также предъявляют жёсткие требования к габаритам, стоимости и технологичности печатной реализации [2]. В этих условиях повышение избирательности фильтра без существенного увеличения размеров и усложнения конструкции становится важной инженерной задачей.

В данной статье рассмотрены основные методы повышения внеполосного подавления компактных входных полосовых фильтров, кратко пояснены принципы их действия, а также выполнено сравнительное сопоставление указанных методов с точки зрения их практического применения в малогабаритных беспроводных устройствах.

Основная часть. Внеполосное подавление полосового фильтра определяется тем, насколько эффективно он ослабляет сигналы за пределами рабочей полосы частот. Повышение этого параметра обычно достигается за счёт увеличения крутизны скатов амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) и формирования дополнительных нулей передачи вблизи полосы пропускания. Чем ближе такие нули передачи расположены к рабочей полосе и чем точнее согласованы параметры резонансной структуры, тем выше избирательность фильтра и тем лучше подавляются мешающие сигналы [3]. Для компактных входных фильтров, применяемых в беспроводных приёмниках и устройствах Интернета вещей (IoT), наибольший интерес представляют методы, позволяющие повысить внеполосное подавление без существенного увеличения площади печатной платы. К таким методам относятся применение открытых шлейфов и нагруженных резонаторов, использование смешанной электрической и магнитной связи, построение многопутевых многослойных структур, а также введение дефектной структуры земли.

Метод открытых шлейфов и нагруженных резонаторов основан на введении в структуру фильтра дополнительных резонансных участков, которые создают нули передачи вблизи полосы пропускания. В качестве таких элементов могут использоваться открытые шлейфы, радиальные шлейфы, а также резонаторы с дополнительной ёмкостной или индуктивной

нагрузкой. При правильном выборе их длины и места подключения удаётся заметно увеличить крутизну скатов амплитудно-частотной характеристики и улучшить подавление сигналов за пределами рабочей полосы. Достоинством данного метода является относительная простота расчёта и реализации на печатной плате. К его недостаткам относятся чувствительность к геометрическим размерам проводников, зазорам и параметрам подложки. [4]. Пример реализации фильтра с использование этого метода представлен на рисунке 1.

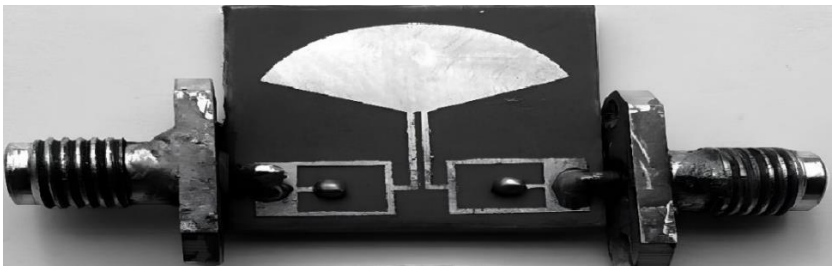


Рисунок 1 – Пример реализации метода открытых шлейфов и нагруженных резонаторов в полосовом фильтре [5]

Метод смешанной электрической и магнитной связи основан на управлении взаимодействием между соседними резонаторами. Если резонаторы расположены таким образом, что между ними одновременно возникают электрическая и магнитная составляющие связи, становится возможным целенаправленно изменять форму амплитудно-частотной характеристики и формировать дополнительные нули передачи. За счёт этого можно усилить подавление сигналов либо со стороны нижнего ската, либо со стороны верхнего ската полосы пропускания. Данный метод удобен тем, что позволяет повысить избирательность фильтра без существенного увеличения его размеров. Однако его реализация требует более точного выбора расстояний между резонаторами и более аккуратного моделирования, поскольку даже небольшие геометрические изменения заметно влияют на результат [6]. Пример реализации такого фильтра представлен на рисунке 2, электрическая связь в данном примере создаётся параллельными низкоомными участками резонаторов, а магнитическая связь – через металлизированное переходное отверстие между высокоомными частями резонаторов.

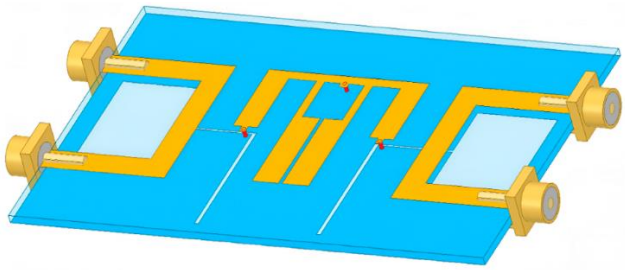


Рисунок 2 – Пример реализации метода смешанной электрической и магнитной связи в фильтре [7]

Метод многопутевых многослойных структур основан на создании нескольких путей прохождения сигнала с различными электрическими длинами и фазовыми задержками. При сложении сигналов, прошедших по этим путям, в отдельных участках частотного диапазона возникает взаимная компенсация, что приводит к образованию нулей передачи и росту внеполосного подавления. Данный подход позволяет получить высокую избирательность и расширенную полосу заграждения, однако обычно требует использования двухслойной или многослойной печатной платы, точного расчёта межслойных переходов и более сложного электромагнитного моделирования [6].

Ещё один способ связан с использованием дефектной структуры земли, то есть локальных вырезов или прорезей в проводнике заземления под фильтром. Такие дефекты изменяют распределение токов возврата и эквивалентные параметры линии, за счёт чего можно получить дополнительные резонансные эффекты и усилить подавление вне рабочей полосы. На практике этот подход часто сочетают с замедляющими структурами и многопроводниковыми резонаторами. Его преимуществом является высокая эффективность,

а ограничением – повышенная чувствительность к точным размерам топологии и к свойствам диэлектрика [8]. На рисунке 3 изображена нижняя сторона платы фильтра, изготовленного с использованием метода дефектной структуры земли.

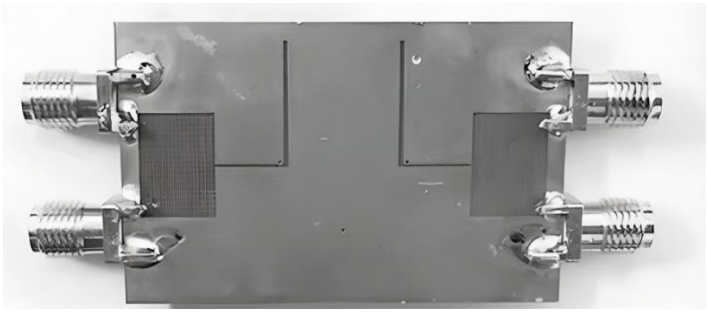


Рисунок 3 – Нижняя сторона платы фильтра, изготовленного с использованием метода дефектной структуры земли [8]

Для наглядного сравнения выявленные методы сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Сравнение методов повышения внеполосного подавления компактных фильтров

Метод	**Механизм улучшения подавления**	**Преимущества**	**Ограничения**
Открытые шлейфы и нагруженные резонаторы	Формирование нулей передачи за счёт дополнительных резонансных ветвей и ответвлений	Простая печатная реализация, хорошая селективность, малая площадь	Требуется аккуратная настройка размеров и связей
Смешанная электрическая и магнитная связь	Смещение нулей передачи к нижней или верхней стороне полосы пропускания	Гибкая настройка формы АЧХ без существенного увеличения габаритов	Повышенная чувствительность к геометрии связи
Многопутевые многослойные структуры	Получение нескольких нулей передачи за счёт интерференции сигналов и межслойных связей	Высокое подавление, расширенная полоса заграждения	Более сложное моделирование и изготовление
Дефектная структура земли	Изменение токов возврата и эквивалентных параметров линии с образованием дополнительных резонансных эффектов	Высокая эффективность подавления вне полосы	Чувствительность к размерам топологии и параметрам подложки

Сравнение рассмотренных методов показывает, что каждый из них обладает своими преимуществами и ограничениями. Открытые шлейфы и нагруженные резонаторы являются наиболее простыми в расчёте и реализации, поэтому хорошо подходят для компактных входных фильтров малогабаритных беспроводных устройств. Смешанная электрическая и магнитная связь позволяет более гибко управлять формой амплитудно-частотной характеристики и положением нулей передачи, однако предъявляет более высокие требования к точности геометрии. Многопутевые многослойные структуры обеспечивают высокий уровень внеполосного подавления и широкую полосу заграждения, но связаны с усложнением конструкции и технологии изготовления. Дефектная структура земли также позволяет существенно повысить подавление вне рабочей полосы, однако чувствительна к параметрам подложки и точности топологии.

На основании проведённого сопоставления можно сделать вывод, что для компактных входных фильтров беспроводных и IoT-устройств наиболее рациональными являются методы, основанные на использовании открытых шлейфов, нагруженных резонаторов и смешанной электрической и магнитной связи. Эти подходы обеспечивают хороший компромисс между уровнем внеполосного подавления, занимаемой площадью и сложностью реализации. Многопутевые многослойные структуры и дефектная структура земли более целесообразны в

тех случаях, когда приоритетом является достижение максимально высокой избирательности и допускается усложнение конструкции фильтра.

Заключение. Рассмотрены основные методы повышения внеполосного подавления компактных входных полосовых фильтров для беспроводных приёмников и IoT-устройств. Показано, что повышение селективности достигается за счёт формирования дополнительных нулей передачи, управления связью между резонаторами, применения многослойных структур и дефектов в проводнике земли. Для печатных устройств малого размера наиболее рациональны методы на основе открытых шлейфов, нагруженных резонаторов и смешанной связи, так как они обеспечивают хороший компромисс между уровнем подавления, занимаемой площадью и сложностью реализации.

Список литературы

1. *Авгари. Ф.С.А. Микрополосковый эллиптический фильтр с реализацией на резонаторах одинаковой электрической длины / Ф.С.А. Авгари, А.Р. Кубалова, А.П. Максимов // Труды учебных заведений связи. – 2017. – Т. 3, № 4. – С. 5–15.*

2. *Фомин Д.Г. Моделирование полосно-пропускающих фильтров на основе многослойной технологии / Д.Г. Фомин [и др.] // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2022. – Т. 22, № 1. – С. 77–87.*

3. *Семерня Р.Е. Разработка топологии компактных квазиэллиптических полосовых микрополосковых фильтров / Р.Е. Семерня [и др.] // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. – 2018. – Т. 21, № 6. – С. 41–53.*

4. *Yang L. Miniaturized Broadband High Out-of-Band Rejection Bandpass Filter Based on Spoof Surface Plasmon Polaritons with Defected Ground Structure / L. Yang [et al.] // Scientific Reports. – 2024. – Vol. 14. – Art. 26722.*

5. *Singh, P. K. Design of Radial Microstrip Band Pass Filter with Wide Stop-Band Characteristics for GPS Application / P. K. Singh, A. K. Tiwary, N. Gupta // Progress In Electromagnetics Research C. – 2015. – Vol. 59. – P. 127–134.*

6. *Савишников М.О. Миниатюрный полосно-пропускающий СВЧ-фильтр со сверхглубоким уровнем подавления в широкой полосе заграждения / М.О. Савишников // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. – 2019. – Т. 12, № 7. – С. 758–764.*

7. *Li, Q. Optimization and Design of Balanced BPF Based on Mixed Electric and Magnetic Couplings / Q. Li, J. Fang, W. Cao [et al.] // Electronics. – 2023. – Vol. 12, No. 9. – Art. 2125.*

8. *Бугров В.Н., Кудряшова О.Е., Козлов С.А. Оптимальное проектирование микрополосковых устройств: практикум. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, 2022. – 34 с.*

UDC 621.372.543.2

METHODS FOR IMPROVING OUT-OF-BAND SUPPRESSION OF COMPACT INPUT BANDPASS FILTERS FOR WIRELESS AND IoT DEVICES

Marchenko T.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus
Scientific supervisor: Madveyko S.I. – Cand. of Sci. (Tech.), Associate Professor, Head of the Department of Electronic Engineering and Technology

Annotation. The paper considers methods for improving the out-of-band suppression of compact input bandpass filters used in wireless receivers and IoT devices. The role of out-of-band suppression is explained, and it is shown that its improvement is achieved by generating additional transmission zeros, controlling the coupling between resonators, using multilayer structures, and introducing defects in the ground conductor. The considered approaches are compared in terms of selectivity, manufacturability, and implementation complexity on a printed circuit board. It is shown that open stubs, loaded resonators, and controllable cross-coupling are the most practical solutions for compact devices.

Keywords: input bandpass filter, out-of-band suppression, transmission zeros, wireless receiver, IoT, compact filter.

УДК 621.372.543.2

ВЛИЯНИЕ ПАРАЗИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПЕЧАТНОГО МОНТАЖА И ТОПОЛОГИИ ЗЕМЛИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛОСОВОГО LC-ФИЛЬТРА

Марченко Т.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Мадвейко С.И. – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой ЭТТ

Аннотация. Рассмотрено влияние паразитных параметров печатного монтажа и топологии земли на характеристики полосового LC-фильтра. Показано, что паразитная емкость контактных площадок и межсоединений вызывает смещение резонансной частоты и изменение полосы пропускания, а паразитная индуктивность межсоединений и цепи возвратного тока ухудшает согласование, увеличивает вносимые потери и усиливает паразитные связи. Приведены оценочные соотношения для определения смещения резонансной частоты с учетом монтажных паразитных параметров и сформулированы практические рекомендации по построению топологии фильтра на печатной плате.

Ключевые слова: полосовой фильтр, LC-фильтр, паразитные параметры, печатный монтаж, топология земли, резонансная частота, АЧХ.

Введение. Полосовые LC-фильтры применяются во входных и межкаскадных цепях радиотехнических устройств, где требуется выделение полезной полосы частот и ослабление внеполосных составляющих сигнала. При синтезе таких фильтров обычно используются идеализированные модели индуктивностей и емкостей, тогда как в реальной конструкции существенную роль играют паразитные параметры контактных площадок, печатных проводников, переходных отверстий и опорных слоев платы [1]. На частотах диапазона сотен мегагерц этими эффектами уже нельзя пренебрегать, поскольку они вызывают смещение центральной частоты, изменение ширины полосы пропускания, рост вносимых потерь и ухудшение коэффициента отражения [2]. В данной статье рассмотрено, каким образом паразитные параметры печатного монтажа и топология земли изменяют характеристики полосового LC-фильтра, приведены простые оценочные соотношения и рекомендации, позволяющие уменьшить расхождение между расчетной и экспериментальной амплитудно-частотной характеристикой.

Основная часть. Реальная индуктивность, в отличие от идеальной, обладает не только активным сопротивлением, но и собственной паразитной емкостью. Конденсаторы также имеют эквивалентное последовательное сопротивление и паразитную индуктивность выводов и контактных площадок. Кроме того, печатные межсоединения между элементами фильтра обладают дополнительной индуктивностью, а контактные площадки и близко расположенные проводники – дополнительной емкостью [3]. В сумме это приводит к тому, что частотная характеристика фильтра, рассчитанная по номиналам дискретных элементов, в реальной печатной реализации оказывается смещенной и часто имеет более высокие потери. Для инженерной оценки удобно использовать эквивалентную модель звена полосового LC-фильтра, в которой расчетные элементы дополняются индуктивностью межсоединений Lm, паразитной емкостью монтажа Cp и индуктивностью пути возвратного тока Lg. Такая модель показана на рисунке 1.

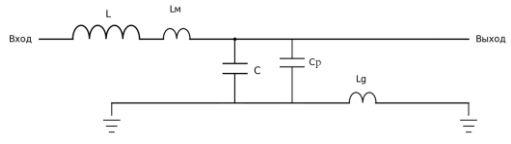


Рисунок 1 – Эквивалентная схема резонансного звена LC-фильтра с учетом монтажных паразитных параметров

При первом приближении влияние монтажных паразитных параметров на резонансное звено можно учесть путем введения эквивалентных значений Lm и Cp. Тогда резонансная частота звена определяется по формуле 1.

$$f_0' = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L + Lm)(C + Cp)}}, \quad (1)$$

где L – расчетная индуктивность катушки, Гн;
C – расчетная емкость конденсатора, Ф;
Lm – суммарная паразитная индуктивность печатных межсоединений и выводов, Гн;
Cp – суммарная паразитная емкость контактных площадок, соседних проводников и монтажных зазоров, Ф.

Если сравнивать реальную резонансную частоту f_0' с идеальной частотой $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$, то при малых относительных паразитных добавках можно получить линейную оценку смещения, представленную формулой 2.

$$\frac{\Delta f_0'}{f_0} \approx -\left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{Lm}{L} + \frac{Cp}{C}\right), \quad (2)$$

где $\Delta f_0' = f_0' - f_0$ – смещение резонансной частоты, Гц.

Как следует из формулы 2, паразитная индуктивность и паразитная емкость действуют в одном направлении: обе уменьшают резонансную частоту. Это означает, что даже при корректном выборе номиналов элементов полоса пропускания реального фильтра смещается вниз по частоте, если топология платы не была учтена на этапе моделирования [4]. На рисунке 2 приведена расчетная зависимость относительного смещения резонансной частоты от отношения Cp/C при различных значениях относительной паразитной индуктивности Lm/L.

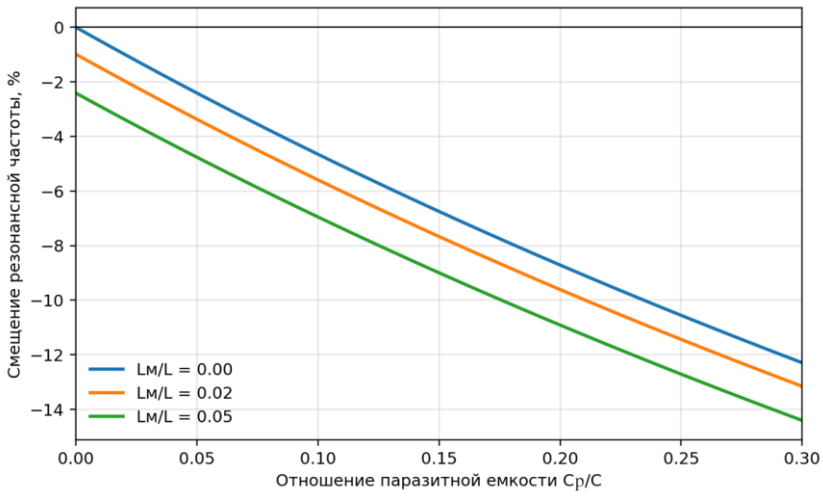


Рисунок 2 – Расчетное смещение резонансной частоты при увеличении паразитной емкости монтажа

Из рисунка 2 видно, что уже при отношении Cp/C = 0,10 расчетная частота может снижаться примерно на 5 % даже в случае пренебрежимо малой паразитной индуктивности монтажа. Если же дополнительно учитывать Lm/L = 0,02…0,05, то суммарное смещение возрастает примерно до 6…7,5 %. Для фильтров диапазона 200–300 МГц это означает отклонение центральной частоты на 12–20 МГц, что уже является практически значимым [4]. При росте Cp/C до 0,20 смещение становится еще более заметным, а фильтр может выйти за пределы допустимой полосы настройки. Следовательно, уменьшение размеров площадок, сокращение длины межсоединений и использование более компактной посадки элементов

оказывают непосредственное влияние на сохранение требуемой амплитудно-частотной характеристики (АЧХ).

Вторым важным фактором является топология земли. На частотах сотен мегагерц и выше опорный полигон уже нельзя рассматривать как идеальный нулевой потенциал, поскольку ток возврата протекает по конечному пути, обладающему собственной паразитной индуктивностью. Если земляной полигон разорван, переходные отверстия заземления удалены от фильтра или путь возвратного тока избыточно длинный, возрастает реактивное сопротивление цепи возврата, которое высчитывается по формуле 3.

$$Xg = 2\pi f Lg\ , \tag{3}$$

где Xg – реактивное сопротивление пути возвратного тока, Ом;

f – частота сигнала, Гц;

Lg – паразитная индуктивность пути заземления, Гн [2].

Это приводит к ухудшению согласования, росту вносимых потерь и усилению паразитной связи между соседними участками схемы.

При разорванной земле ток возврата вынужден огибать разрывы полигона и замыкаться по удлиненному пути. Это повышает эквивалентную индуктивность Lg, увеличивает напряжение на общем импедансе и создает условия для паразитных наводок. Напротив, сплошной полигон земли и близко расположенные переходные отверстия обеспечивают короткий путь возвратного тока и делают характеристики фильтра более устойчивыми [2]. В практических рекомендациях по ВЧ-разводке подчеркивается, что сигнальные дорожки и соответствующие им пути возврата должны быть максимально локализованы, а количество переходов между слоями следует минимизировать [5].

Для полосового LC-фильтра диапазона сотен мегагерц наибольшее влияние обычно оказывают четыре конструктивных фактора: длина межсоединений между элементами, размеры контактных площадок, удаленность элементов от сплошного полигона земли и число ближайших переходных отверстий заземления. Увеличение длины межсоединений повышает паразитную индуктивность, тогда как рост размеров площадок и близость широких проводящих поверхностей увеличивают паразитную емкость. Недостаточная непрерывность земли ухудшает путь возвратного тока, а дефицит переходных отверстий снижает эффективность связи верхнего сигнального слоя с опорным слоем [5].

Для наглядного сравнения основные проявления паразитных параметров и способы их уменьшения сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Влияние конструктивных факторов на характеристики полосового LC-фильтра

Конструктивный фактор	**Физическое проявление**	**Влияние на характеристики фильтра**	**Рекомендуемое решение**
Длинные межсоединения между L и C	Рост Lm и взаимной индукции	Смещение полосы вниз, ухудшение добротности, усиление паразитной связи	Минимизировать длину дорожек, располагать элементы компактно
Крупные контактные площадки	Рост Cp относительно расчетной емкости	Изменение центральной частоты и ширины полосы	Использовать минимально достаточные площадки
Разорванный полигон земли	Удлинение пути возвратного тока, рост Lg	Увеличение потерь, ухудшение согласования, нестабильная АЧХ	Сохранять сплошную землю под ВЧ-частью схемы
Редкие или удаленные via земли	Увеличение общего импеданса опорного слоя	Рост паразитных наводок и чувствительности к помехам	Располагать переходные отверстия земли как можно ближе к фильтру и чаще

Сопоставление, представленное в таблице 1, показывает, что на практике паразитные параметры печатного монтажа и топология земли действуют совместно. Например, при компактном размещении элементов можно уменьшить индуктивность межсоединений, но если под фильтром отсутствует сплошной полигон земли, выигрыш будет частично потерян из-за роста Lg. Поэтому наиболее рациональным является последовательный подход: сначала

выбираются реальные модели компонентов с учетом их собственных паразитных параметров, затем в схему вводятся эквивалентные паразитные параметры печатного монтажа, после чего уточняется топология земли и расположение переходных отверстий [6].

С инженерной точки зрения проектирование фильтра целесообразно вести в два этапа. На первом этапе используются схемотехнические модели дискретных компонентов, учитывающие добротность и собственную резонансную частоту. На втором этапе выполняется уточнение модели с учетом паразитных RLC-параметров печатной реализации. Подобный подход позволяет заранее оценить ожидаемое смещение полосы пропускания, заложить коррекцию номиналов и уменьшить число итераций после изготовления макета [6]. В условиях учебного и опытного проектирования это особенно важно, поскольку даже небольшая корректировка топологии нередко дает больший эффект, чем замена элементов на более дорогие аналоги.

Заключение. Таким образом, характеристики полосового LC-фильтра в реальной печатной реализации определяются не только расчетными номиналами элементов, но и паразитными параметрами монтажа и топологией земли. Паразитная емкость контактных площадок и межсоединений смещает резонансную частоту и изменяет форму полосы пропускания, а паразитная индуктивность межсоединений и цепи возвратного тока ухудшает согласование и повышает потери. Наиболее рациональным подходом при проектировании является совместный учет реальных моделей компонентов, монтажных паразитных параметров и организации опорного полигона земли. Применение коротких и симметричных межсоединений, минимально достаточных контактных площадок, сплошной земли под ВЧ-частью схемы и близко расположенных переходных отверстий позволяет существенно уменьшить расхождение между расчетной и экспериментальной АЧХ фильтра.

Список литературы

1. *Gurov, E. V. Analysis of the Parasitic Parameters Influence on the Analog Filters Frequency Response / E. V. Gurov [et al.] // 2019 International Seminar on Electron Devices Design and Production (SED). – Prague, 2019. – P. 1–7.*

2. *Кечиев, Л. Н. Проблемы конструирования электронной аппаратуры с учетом электромагнитной совместимости / Л. Н. Кечиев [и др.] // Технологии электромагнитной совместимости. – 2020. – № 1(72). – С. 18–30.*

3. *Ланин, В. Л. Электромонтажные соединения в электронике: технология, оборудование, контроль качества / В. Л. Ланин, В. А. Емельянов. – Минск : Интегралполиграф, 2013. – 406 с.*

4. *Журавлев, В. Я. Паразитные параметры печатного монтажа / В. Я. Журавлев, О. И. Подгайко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – Вып. 3/7. – С. 49–52.*

5. *Конструирование и технология электронных систем : пособие к курсовому проектированию для студ. спец. «Электронно-оптические системы и технологии» всех форм обуч. / А. А. Костюкевич [и др.]. – Минск : БГУИР, 2011. – 119 с.*

6. *Бабунько, С. А. Учет паразитных параметров SMD-элементов при проектировании полосовых фильтров / С. А. Бабунько, Ю. Г. Белов [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/uchet-parazitnyh-parametrov-smd-elementov-pri-proektirovanii-polosovyh-filtrov. – Дата доступа: 01.03.2026.*

UDC 621.372.543.2

INFLUENCE OF PCB MOUNTING PARASITICS AND GROUND TOPOLOGY ON THE CHARACTERISTICS OF A BANDPASS LC FILTER

Marchenko T. V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics,Minsk, Republic of Belarus

Madveiko S.I. – Cand. of Sci., Associate Professor, Head of the Department of EET

Annotation. The paper considers the influence of PCB mounting parasitics and ground topology on the characteristics of a bandpass LC filter in the VHF range. It is shown that parasitic capacitance of pads and interconnects causes a shift of the resonant frequency and changes the passband, while parasitic inductance of interconnects and the return-current path worsens matching and increases loss. Simple analytical relations and practical layout recommendations are presented.

Keywords: bandpass filter, LC filter, parasitic parameters, PCB layout, ground topology, resonant frequency, frequency response.

УДК 611.91

МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ОБУЧАЮЩЕГО НАБОРА ДАННЫХ ДЛЯ СЕГМЕНТАЦИИ СТРУКТУР СРЕДНЕГО И ВНУТРЕННЕГО УХА НА КТ-ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Смольская Т.С., Друц Э.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Камлач П.В.. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ЭТТ

Аннотация. В работе рассматривается методика формирования обучающего набора данных для разработки нейросетевой модели сегментации анатомических структур среднего и внутреннего уха по данным компьютерной томографии. Описаны особенности КТ-изображений височной кости, влияющие на процесс сегментации. Рассмотрены этапы подготовки исходных томографических данных, процедуры ручной разметки и формирования обучающей выборки для последующего обучения моделей глубокого обучения. Предложенный подход позволяет сформировать структурированный набор данных, пригодный для разработки и обучения нейросетевых алгоритмов сегментации медицинских изображений.

Ключевые слова: компьютерная томография, сегментация медицинских изображений, нейронные сети, медицинские данные, височная кость, среднее ухо, внутреннее ухо, обучающий набор данных.

Введение. Современные методы медицинской визуализации играют важную роль в диагностике заболеваний органов слуха. Одним из наиболее распространённых методов исследования костных структур является компьютерная томография (КТ), позволяющая получать высокодетализированные послойные изображения височной кости. КТ широко используется для анализа анатомии среднего и внутреннего уха, а также для планирования хирургических вмешательств.

В последние годы для обработки медицинских изображений активно применяются методы глубокого обучения, позволяющие автоматизировать процесс сегментации анатомических структур [1, 2]. Однако эффективность таких методов во многом зависит от качества и структуры обучающих данных. Для обучения нейросетевых моделей требуется формирование размеченных наборов медицинских изображений, что является сложной и трудоемкой задачей.

Целью данной работы является разработка методики формирования обучающего набора данных для сегментации структур среднего и внутреннего уха на КТ-изображениях.

Основная часть. КТ-изображения височной кости характеризуются высокой плотностью костных структур и наличием мелких анатомических элементов. Структуры среднего и внутреннего уха, такие как улитка, преддверие, полукружные каналы и слуховые косточки, имеют малые размеры и сложную пространственную форму.

Дополнительные сложности связаны с наличием шумов и артефактов, а также низким контрастом между соседними тканями [4]. Кроме того, при сегментации медицинских изображений возникает проблема дисбаланса классов, когда объём целевых структур значительно меньше объёма фоновой области [5].

Указанные особенности требуют применения специальных методов подготовки данных перед обучением нейросетевых моделей.

Исходные данные компьютерной томографии представлены в формате DICOM, содержащем как изображения, так и метаданные о параметрах сканирования. Подготовка данных включает сбор КТ-исследований, проверку качества изображений и анализ параметров томографии.

Для повышения точности сегментации используются тонкосрезовые КТ-исследования с толщиной среза менее 1 мм. На этапе предобработки выполняется нормализация интенсивности изображений, приведение данных к единому формату и выделение области интереса.

Процесс формирования обучающего набора данных представлен на рисунке 1.

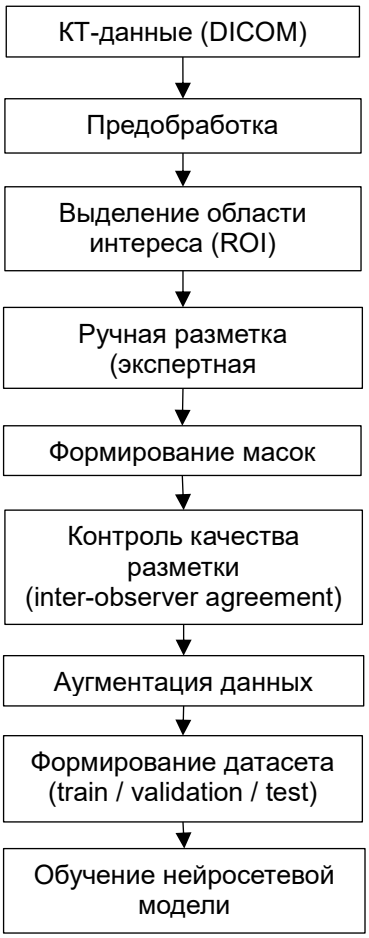


Рисунок 1 – Схема формирования обучающего набора данных для обучения нейросетевой модели сегментации

Формирование обучающего набора данных представляет собой многоэтапный процесс, включающий предобработку КТ-данных, разметку анатомических структур, формирование эталонных масок сегментации (ground truth) и подготовку данных для обучения нейросетевой модели. Важным этапом является контроль качества разметки, включая оценку согласованности между экспертами.

Разметка медицинских изображений является ключевым этапом формирования обучающего набора данных для задач сегментации [6]. Медицинская аннотация представляет собой процесс выделения и маркировки областей интереса на изображениях с целью формирования эталонных данных, необходимых для обучения моделей машинного обучения.

В рамках данного исследования разметка выполняется вручную с участием специалиста в области оториноларингологии. Для каждой анатомической структуры формируется отдельная маска сегментации, отражающая её пространственное расположение на КТ-изображениях.

На первом этапе выделяются основные анатомические структуры среднего и внутреннего уха, включая улитку, преддверие, полукружные каналы и слуховые косточки. Данный перечень может быть расширен в дальнейшем по мере развития исследования.

Процесс разметки включает последовательное выделение структур на послойных изображениях с последующей проверкой корректности границ. Особенностью медицинской аннотации является необходимость привлечения специалистов, обладающих знаниями анатомии и клинической практики, что существенно усложняет и удорожает процесс подготовки данных .

Следует отметить, что при ручной разметке возможно возникновение различий между экспертами (inter-observer variability), обусловленных субъективностью интерпретации границ анатомических структур [7]. Для повышения согласованности разметки используется повторная проверка результатов и согласование спорных участков.

Таким образом, корректная организация процесса аннотирования медицинских изображений является критически важным фактором при формировании качественного обучающего набора данных.

После выполнения разметки формируется обучающий набор данных для дальнейшего обучения нейросетевых моделей сегментации. Подготовленный набор данных включает исходные КТ-изображения и соответствующие маски сегментации.

Для обучения моделей глубокого обучения данные обычно разделяются на три части:

– обучающую выборку;

– валидационную выборку;

– тестовую выборку.

Такое разделение позволяет оценить качество работы модели и предотвратить переобучение [8].

Для оценки качества работы нейросетевых моделей сегментации используются количественные метрики, позволяющие сравнить результаты автоматической сегментации с эталонной разметкой.

Заключение. В работе предложена методика формирования обучающего набора данных для сегментации структур среднего и внутреннего уха на КТ-изображениях. Рассмотрены особенности медицинских изображений височной кости и основные этапы подготовки данных, включая сбор томографических исследований, разметку анатомических структур и формирование обучающей выборки.

Предложенный подход позволяет создать структурированный набор медицинских данных, пригодный для разработки и обучения нейросетевых моделей сегментации. В дальнейшем планируется использование сформированного набора данных для разработки алгоритмов автоматической сегментации структур среднего и внутреннего уха на основе методов глубокого обучения.

Список литературы

1. *Litjens G., Kooi T., Bejnordi B. et al. A survey on deep learning in medical image analysis // Medical Image Analysis. – 2017. – Vol. 42. – P. 60-88.*

2. *Shen D., Wu G., Suk H. Deep learning in medical image analysis // Annual Review of Biomedical Engineering. – 2017. – Vol. 19. – P. 221-248.*

3. *Swartz J. D., Harnsberger H. R. Imaging of the Temporal Bone // Thieme Medical Publishers. – 2019.*

4. *Maier A., Syben C., Lasser T., Riess C. A gentle introduction to deep learning in medical image processing // Zeitschrift für Medizinische Physik. – 2019. – Vol. 29(2). – P. 86-101.*

5. *Pham D. L., Xu C., Prince J. L. Current methods in medical image segmentation // Annual Review of Biomedical Engineering. – 2000. – Vol. 2. – P. 315-337.*

6. *Isensee F., Jaeger P. F., Kohl S. A. A., Petersen J., Maier-Hein K. H. nnU-Net: a self-configuring method for deep learning-based biomedical image segmentation // Nature Methods. – 2021. – Vol. 18. – P. 203-211.*

7. *Karimi D., Salcudean S. E. Reducing the Hausdorff distance in medical image segmentation with convolutional neural networks // IEEE Transactions on Medical Imaging. – 2020. – Vol. 39(2). – P. 499-513.*

8. *Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning // MIT Press. – 2016.*

UDC 611.91

METHOD FOR FORMING A TRAINING DATA SET FOR SEGMENTATION OF THE MIDDLE AND INTERNAL EAR STRUCTURES ON CT IMAGES

Druts E.V., Smolskaya T.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Kamlach P.V. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ETT

Annotation. The paper discusses the methodology for creating a training dataset for developing a neural network model for segmenting anatomical structures of the middle and inner ear based on computed tomography data. It describes the features of CT images of the temporal bone that affect the segmentation process. The paper also covers the steps of preparing the initial tomographic data, manual labeling procedures, and creating a training dataset for subsequent training of deep learning models. The proposed approach allows for the creation of a structured dataset suitable for developing and training neural network algorithms for medical image segmentation.

Keywords: computed tomography, medical image segmentation, neural networks, medical data, temporal bone, middle ear, inner ear, training dataset.

УДК 621.396.6:615.47:616.379-008.64

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕРФЕЙСА NFC В ИМПЛАНТИРУЕМЫХ МЕДИЦИНСКИХ ДАТЧИКАХ

Сокольчик М. А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Урбанович С. П. – м.т.н., ведущий инженер Отраслевой Лабаратории «Приборы, системы и технологии медицинского назначения» БГУИР

Аннотация. Предлагается обоснование применения NFC интерфейса в подкожном имплантируемом датчике измерения глюкозы, его варианты аппаратной реализации.

Ключевые слова: Интерфейс NFC, имплантируемые датчики, региональная актуальность.

Введение. Существующие системы непрерывного мониторинга глюкозы в крови, такие как Abbott FreeStyle Libre, ICan и Senseonics Eversense, обладают следующими преимуществами: оперативность измерения уровня глюкозы, снижение HbA1c [1,2], адаптация периода измерения глюкозы к индивидуальным особеностям пациента, и, как следствие, снижение частоты госпитализаций по причине гипо-гипергликемии [3]. Однако описанные системы характеризуются высокой стоимостью. В Республике Беларуси не существует серийно выпускаемых устройств для вышеуказанных задач. Следовательно, актуализируется задача создания подобного имплантируемого датчика (ИД). Важной составляющей так же является минимизация себестоимости ИД при полном сохранении функциональности. В связи с этим в Отраслевой Лаборатории «Приборы, системы и технологии медицинского назначения» БГУИР разработан ИД непрерывного измерения глюкозы в крови, содержащий для связи с внешним устройством интерфейс NFC.

Способы обмена информации в ИД. Используются два основных способа: технология Bluetooth и интерфейс NFC. Bluetooth характеризуется рядом преимуществ: скорость и дальность передачи данных. Однако существуют недостатки: необходимо независимое питание для работы ИД и, как следствие, увеличенные габаритные размеры, не позволяют создать миниатюрный, энергоэффективный ИД. NFC способен запитывать энергией ИД и при этом обеспечивает в большинстве случаев достаточную скорость обмена информацией. Также частота передачи данных NFC – 13.56 МГц не требует региональной сертификации, в то время как частота Bluetooth – требует.

Существует ряд требований к обмену информацией с имплантируемыми медецинскими датчиками: только беспроводная связь [4], электро-магнитная совместимость [5], биосовместимость[6]. Существуют и технические стандарты связи для бесконтактных карт близкого действия (NFC Type A/B) — ISO/IEC 14443, ISO/IEC 15693, ISO/IEC 18092, которые описывают физическую и канальную модель связи.

Принцип работы NFC. Ниже приведена структурная схема интерфейса (рисунок 1). Согласно структурной схеме, обмен данных между носимым устройством и ИД происходит с помощью магнитной индукции, на частоте 13.56 МГц. Считыватель подносится на расстояние до 10 см в воздушной среде, для подкожной среды расстояние должно быть 2-3 см к имплантируемому датчику. Создаётся переменное магнитное поле на нужной частоте. В ИД находится радиометка (катушка индуктивности) [7], которая по принципу трансформатора передаёт энергию магнитного поля от катушки к контроллеру с помощью схемы Energy harvesting и Блока Питания. Тем самым микроконтроллер активируется. Далее ИД начинает работать по описанным разработчиком инструкциям (замеры контролируемых показателей, например). Затем, происходит обмен готовыми данными между ИД и носимым устройством. Блок-схема алгоритма обмена данными между носимым устройством и ИД приведена рисунке

2. Считыватель регистрирует начало передачи информации, путём изменения добротности антенного контура. Изменяются фаза и частота переменного магнитного поля. Это происходит, так как ИД изменяет импеданс своей антенной цепи, изменение импеданса влияет на добротность контура и через взаимную индуктивность изменяется импеданс контура считывателя.

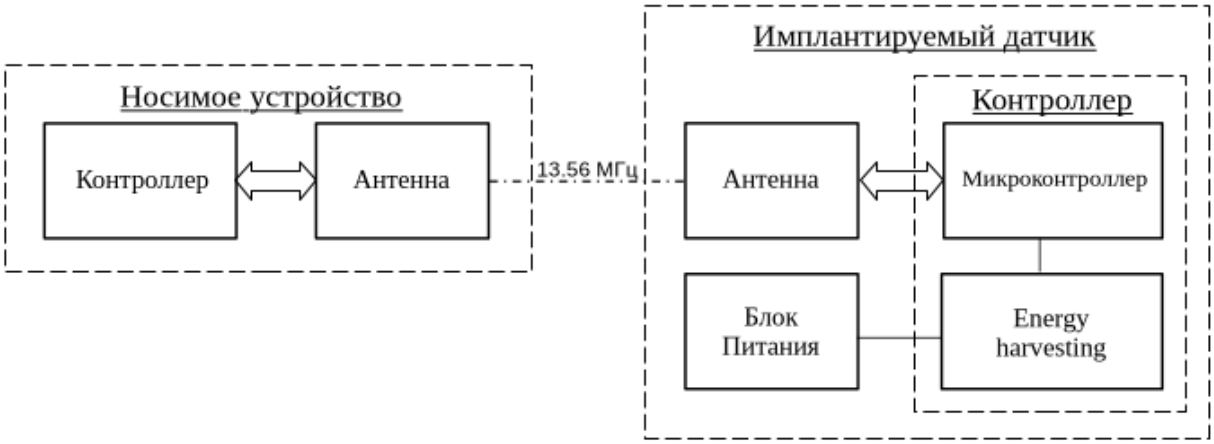


Рисунок 1 – Структурная схема NFC-интерфейса

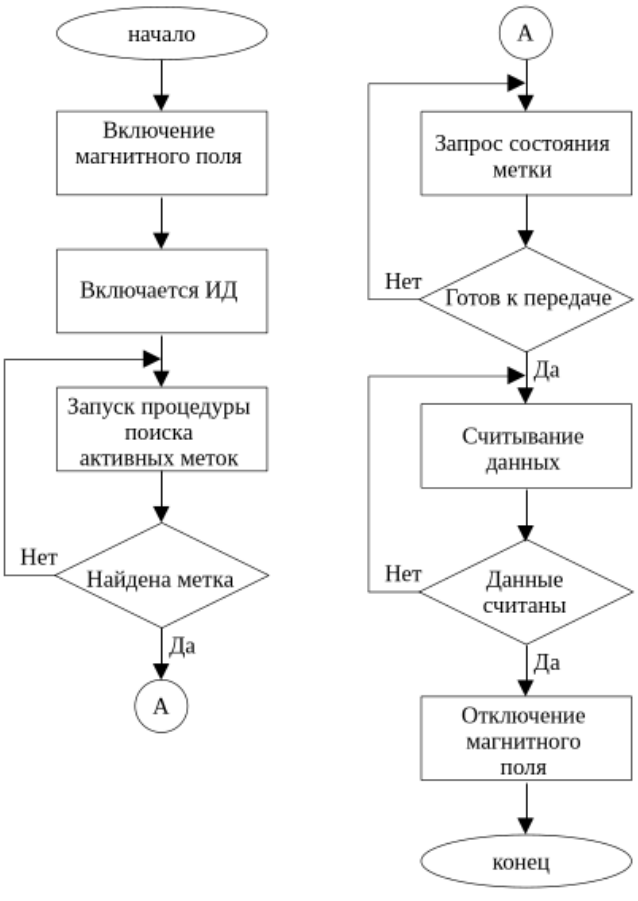


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма обмена данными

По схеме также стоит пояснить следующие моменты: блок «данные считаны» и блок «считывание данных». В ходе работ с технологией, иследователи пришли к выводу, что хорошим решением будут следующие операции: ввод на стадии проверки корректности считанных данных CRC/контрольной суммы; счётчик неудачных попыток; разделить передаваемую информацию на пакеты, с их последовательным подтверждением (ACK/NACK); будут полезны таймеры, защищающие систему от зацикливания и

непредсказуемого поведения. Вышеуказанный алгоритм обеспечивает стабильность соединения при проведении исследования.

Аппаратные решения. При разработке мы ориентировались на существующие аналоги и их технические решения. Существуют аппаратные решения и специализированные платформы, оптимизированные под конкретные клинические задачи. Такой подход обеспечивает максимальную интеграцию и энергоэффективность, однако требует значительных затрат на НИОКР и удлиняет цикл разработки. Нашей командой был выбран путь использования готовых коммерческих NFC-транспондеров. Так как подобные интерфейсы содержат необходимое аппаратное окружение; хорошо документированы; поддержаны ПО для разработки и отладки; имеют определённый период эксплуатации, за который были выявлены и устранены их недостатки. На данный момент существует как отдельные микросхемы NFC-интерфейса, так и системы на кристалле, содержащие NFC-интерфейс с интегрированным процессором. Отдельные – ST25DV, NT3H2211, FM11NT0**.** Их ключевые преимущества – активный интерфейс ответа, блок памяти SRAM с неограниченным числом перезаписей (у аналогов с EEPROM 10^5-10^6), поддержка Energy harvesting для питания внешней схемы, компактный корпус. Однако в ходе работ над проектом нам понадобилось в ИД поместить микросхему отдельного NFC и микроконтроллер с другими датчиками. Мы посчитали разумным в таком случае использовать NHS3152. Данная система на кристалле имеет как интерфейс обмена данными, так и современный процессор с датчиками.

Заключение. Таким образом использование коммерческих интерфейсов NFC позволяет существенно снизить стоимость прототипирования, сокращает время выхода на рынок, снижает риски разработки, уменьшает габаритные размеры конечного устройства. Описанный принцип обмена информации дефакто стал стандартом для подкожных ИД, и рассмотренные аппаратные решения будут полезны при проектировании ИД других направленностей.

Список литературы

1. *U.S. Food and Drug Administration. Premarket Approval (PMA) P160030 [Электронный ресурс] : [официальный документ]. – Silver Spring : FDA, 2016. – Режим доступа: https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfpma/pma.cfm?id=P160030. – Дата доступа: 15.03.2026.*

2. *Evans, M. Reductions in HbA1c with Flash Glucose Monitoring Are Sustained for up to 24 Months: A Meta-Analysis of 75 Real-World Observational Studies / M. Evans, Z. Welsh, A. Seibold // Diabetes Therapy. – 2022. – Vol. 13, № 6. – P. 1175–1185. – DOI: 10.1007/s13300-022-01253-9.*

3. *Eeg-Olofsson, K. Real-world study of flash glucose monitoring among adults with type 2 diabetes within the Swedish National Diabetes Register / K. Eeg-Olofsson, A.-M. Svensson, S. Franzén [u др.] // Diabetes and Vascular Disease Research. – 2023. – Vol. 20, № 1. – Art. 14791641211067418. – DOI: 10.1177/14791641211067418.*

4. *ГОСТ ISO 14708-1-2012. Имплантаты хирургические. Активные имплантируемые медицинские изделия. Часть 1. Общие требования к безопасности, маркировке и информации, предоставляемой изготовителем [Текст]. – Введ. 2014-01-01. – Минск : Госстандарт, 2013. – 45 с.*

5. *СТБ МЭК 60601-1-2-2024. Изделия медицинские электрические. Часть 1-2. Общие требования к безопасности, включая основные эксплуатационные характеристики. Дополнительный стандарт. Электромагнитная совместимость. Требования и испытания [Текст]. – Введ. 2024-07-01. – Минск : Госстандарт, 2024. – 156 с.*

6. *ГОСТ ISO 10993-1-2021. Биологическая оценка медицинских изделий. Часть 1. Оценка и исследования в рамках системы менеджмента рисков [Текст]. – Введ. 2022-07-01. – Минск : Госстандарт, 2021. – 68 с.*

7. *Microchip Technology Inc. Antenna Circuit Design for RFID Applications [Электронный ресурс] : application note AN00710C / Microchip Technology Inc. – Chandler : Microchip Technology Inc., 2015. – Режим доступа: https://ww1.microchip.com/downloads/en/appnotes/00710c.pdf. – Дата доступа: 15.03.2026.*

UDC 621.396.6:615.47:616.379-008.64

USING NFC INTERFACE IN IMPLANTED SENSORS

Sakolchyk M.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Urbanovich S.P. – leading research engineer Branch "Laboratory Medical Instruments, Systems and Technologies"

Annotation. The article proposes a rationale for using the NFC interface in a subcutaneous implantable glucose sensor and its hardware implementation options.

Keywords: Near Field Communication (NFC), implantable sensors, regional relevance.

УДК 615.47:621.38

ИНЪЕКЦИОННЫЕ НЕЙРО–НАНОЭЛЕКТРОННЫЕ СЕТИ: К МИНИМАЛЬНО ИНВАЗИВНЫМ МОЗГОВЫМ ИНТЕРФЕЙСАМ ДЛЯ ТОЧНОЙ НЕЙРОМОДУЛЯЦИИ

Ахмед Сохайб А. Ф.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Тумилович М.В. – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры ЭТТ

Аннотация: В докладе рассматривается концепция инъекционных макропористых наноэлектронных сетей как альтернативы традиционным жестким нейроимплантатам. Проанализированы аппаратная архитектура, методы преодоления механического несоответствия с тканями мозга и механизмы беспроводной ультразвуковой телеметрии для передачи данных и энергии. Обоснована перспективность применения данных систем в терапии фармакорезистентной эпилепсии и болезни Паркинсона, а также выделены ключевые инженерные барьеры, включая проблему безопасной эксплантации.

Ключевые слова: медицинские электронные системы, нейромодуляция, наноэлектроника, инъекционные интерфейсы, биосовместимость, ультразвуковая телеметрия, нейроинженерия.

Введение. Развитие интерфейсов «мозг–компьютер» (BCI) и систем глубокой стимуляции мозга (DBS) исторически опиралось на использование жестких микроэлектродных массивов (например, Utah Array или массивы Мичиганского типа) [1]. Несмотря на их несомненную клиническую эффективность на начальных этапах применения, долгосрочная стабильность записи потенциалов действия критически снижается из-за неизбежной реакции на инородное тело [1, 4]. Разница в модуле Юнга между кремнием или вольфрамом (около 150 ГПа) и мягкой тканью мозга (1 – 10 кПа) вызывает хроническое микротрение при естественных физиологических пульсациях спинномозговой жидкости и дыхательных движениях. Это механическое несоответствие запускает каскад воспалительных реакций, активируя микроглию и астроциты, что в конечном итоге приводит к формированию плотного изолирующего глиального рубца вокруг электродов [3]. В связи с этим, фокус современных исследований радикально смещается в сторону инъекционной ультрагибкой наноэлектроники, способной физически и функционально интегрироваться с нейронными сетями на клеточном уровне без вызова выраженного иммунного ответа [4].

Основная часть. Физиологические барьеры и биосовместимость. Успешная трансляция наноэлектронных сетей в клиническую практику требует абсолютной минимизации травматизации при имплантации. Использование стереотаксической хирургии позволяет вводить свернутую полимерную макропористую сеть через микроканюлю или иглу с внутренним диаметром менее 100 мкм [3], что сопоставимо с размером самых мелких кровеносных сосудов, тем самым сохраняя целостность гематоэнцефалического барьера (ГЭБ).

Попадая в целевое ядро или кору, структура плавно разворачивается в водной среде ткани, адаптируясь к локальной трехмерной анатомии нейрональных ансамблей. Благодаря сверхвысокой пористости (более 80–90 %) и субклеточным размерам несущих элементов, сеть становится «невидимой» для иммунной системы и не воспринимается микроглией как сплошной барьер [3, 4]. Спустя несколько недель после инъекции наблюдается беспрепятственный рост аксонов, дендритов и капилляров сквозь ячейки устройства. Эта структурная синергия формирует стабильный и долговечный интерфейс, полностью исключающий эффект механического и электрического экранирования сигнала, характерный для жестких зондов [3].

Аппаратная архитектура и проектирование биосенсоров. Основой конструкции выступают биосовместимые эластомеры и полимеры, такие как фоторезист SU-8 или полимонохлор–пара-ксилилен (Parylene-C) [3], общая толщина которых составляет всего несколько микрометров, что обеспечивает их изгибную жесткость, близкую к таковой у клеточных мембран. Проводящие пути формируются с использованием нанопроводов из

золота, платины или проводящего полимера PEDOT:PSS [4], который обладает уникальной способностью к смешанной электронно-ионной проводимости, снижая сопротивление на границе «электрод-ткань».

Ключевой фундаментальной проблемой миниатюризации является резкий рост комплексного импеданса электрода при уменьшении его площади, описываемый классическим уравнением 1:

$$Z = R_S + \frac{1}{j\omega C_{dl}}, \quad (1)$$

где Z– общий импеданс системы;

R_s– сопротивление растекания в электролите (ткани);

ω– угловая частота сигнала;

C_{dl}– ёмкость двойного электрического слоя на границе раздела фаз.

Для поддержания низкого значения модуля импеданса $|Z|$ (что критично для сохранения высокого отношения сигнал/шум при регистрации микровольтовых потенциалов действия), поверхности электродов покрываются нанопористым оксидом иридия (IrOx) или углеродными нанотрубками [4], многократно увеличивающими эффективную площадь взаимодействия без изменения геометрических размеров. Дополнительно в узлы сети напрямую интегрируются наноразмерные полевые транзисторы (Nano-FETs) для локального усиления слабого нейронного сигнала непосредственно в точке его возникновения [3, 4], а также схемы мультиплексирования с временным разделением каналов (TDM) для радикального сокращения количества исходящих физических микрокабелей.

Беспроводная передача энергии и данных. Отказ от чрескожных проводов является абсолютным и обязательным условием для долгосрочных мозговых имплантатов из-за риска восходящих инфекций и механических повреждений [1, 2]. Традиционная радиочастотная (RF) телеметрия оказывается неэффективной для инъекционных микросистем из-за сильного затухания высокочастотных электромагнитных волн в водосодержащих тканях и строгих ограничений по удельному коэффициенту поглощения (SAR) – нагрев мозговой ткани не должен превышать 1°C во избежание денатурации белков.

Учитывая, что скорость звука в биологических тканях составляет около 1500 м/с, длина волны ультразвука на безопасной частоте 1 МГц (около 1,5 мм) позволяет использовать микромасштабные приемники антенны [2]. В предложенной архитектуре энергия собирается посредством миниатюрных пьезоэлектрических нанокристаллов (например, титаната бария BaTiO3 или цирконата-титаната свинца PZT), которые преобразуют внешние ультразвуковые акустические импульсы в электрическое напряжение для питания транзисторной логики [2]. Передача зарегистрированных нейронных данных наружу осуществляется методом акустического обратного рассеяния (ultrasonic backscatter) путем модуляции акустического импеданса кристалла в зависимости от локальной электрической активности нейронов. Это обеспечивает сверхэффективную пассивную передачу данных с практически нулевым собственным энергопотреблением имплантата [2].

Целевые клинические применения. Конформная интеграция полимерных сетей открывает совершенно новые терапевтические горизонты, недоступные для современных клинических устройств [4]:

1 Эпилепсия: высокоплотное пространственное картирование гиппокампа и неокортекса позволяет создать системы замкнутого цикла (closed-loop) для непрерывного мониторинга. Они способны алгоритмически детектировать паттерны зарождающейся иктальной активности и подавлять их точечными микроимпульсами за миллисекунды до клинического проявления приступа.

2 Болезнь Паркинсона и двигательные расстройства: инъекция сетей непосредственно в субталамическое ядро (STN) обеспечивает высоконаправленную (векторную) стимуляцию. В отличие от жестких электродов, сеть не смещается при движениях, сводя к минимуму активацию соседних путей и предотвращая побочные эффекты (такие как дизартрия или мышечные сокращения), характерные для классического DBS [1].

3 Нейропротезирование: восстановление моторных функций у пациентов с травмами спинного мозга посредством декодирования намерений движения из моторной коры с высокой точностью [1, 3] для управления роботизированными экзоскелетами на протяжении десятков лет без потери качества сигнала.

Текущие ограничения и перспективы. Несмотря на высокий трансляционный потенциал, внедрение технологии сдерживается рядом барьеров. Фундаментальной проблемой остается эксплантация: после прорастания нервной ткани сквозь ячейки полимера [3], безопасное удаление устройства без повреждения паренхимы мозга становится практически невыполнимой хирургической задачей. Решение требует создания интеллектуальных биодеградируемых конструкций, способных к растворению по внешнему триггеру. Кроме того, оценка долгосрочной токсичности наноматериалов в спинномозговой жидкости диктует необходимость длительных испытаний in vivo [4]. Еще одним вызовом является «бутылочное горлышко» обработки данных: непрерывный поток информации от тысяч узлов требует разработки новых энергоэффективных алгоритмов машинного обучения для их декодирования в реальном времени.

Заключение. Инъекционная нейроэлектроника представляет собой качественный скачок в нейроинженерии. Синергия ультрагибких эластомеров, наносенсорики и ультразвуковой телеметрии позволяет элегантно преодолеть фундаментальные недостатки традиционных нейроимплантатов [1, 2, 4]. Успешный переход технологии в рутинную клиническую практику напрямую зависит от междисциплинарного решения проблем биоразлагаемости, кибербезопасности и обратимости хирургического вмешательства, что в перспективе сделает безопасный симбиоз человеческого мозга и вычислительных систем реальностью.

Список литературы

1. *Normann, R. A. Clinical applications of penetrating neural interfaces and Utah Array technologies / R. A. Normann, E. Fernandez // Journal of Neural Engineering. – 2016. – Vol. 13, № 6. – Art. № 061003.*

2. *Seo, D. Neural dust: an ultrasonic, low power solution for chronic brain-machine interfaces / D. Seo [et al.] // arXiv preprint arXiv:1307.2196. – 2013. – 11 p.*

3. *Luan, L. Ultraflexible nanoelectronic probes form reliable, glial scar–free neural integration / L. Luan [et al.] // Science Advances. – 2017. – Vol. 3, № 2. – Art. № e1601966.*

4. *Hong, G. Novel electrode technologies for neural recordings / G. Hong, C. M. Lieber // Nature Reviews Neuroscience. – 2019. – Vol. 20, № 6. – P. 330–345.*

UDC 615.47:621.38

INJECTABLE NEURAL NANOELECTRONIC MESHES: TOWARDS MINIMALLY INVASIVE BRAIN INTERFACES FOR PRECISE NEUROMODULATION

Ahmed Sohaib

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Tumilovich M.V. – Dr. of Sci., Professor, Professor of the department of ETIT

Annotation. This article explores the concept of injectable macroporous nanoelectronic meshes as a viable alternative to traditional rigid neuroimplants. The study analyzes the hardware architecture, methods for overcoming mechanical mismatch with brain tissue, and the mechanisms of wireless ultrasonic telemetry for power and data transmission. Furthermore, it substantiates the prospective clinical applications of these systems in the targeted therapy of drug-resistant epilepsy and Parkinson's disease, while also highlighting critical engineering barriers, primarily the challenge of safe explantation.

Keywords: medical electronic systems, neuromodulation, nanoelectronics, injectable interfaces, biocompatibility, ultrasonic telemetry, neuroengineering.

УДК 615.47:681.586

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОНОМНЫХ НОСИМЫХ БИОСЕНСОРНЫХ СИСТЕМ С САМОПИТАНИЕМ ДЛЯ ДЛИТЕЛЬНОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ

Ахмед Сохайб А. Ф.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Тумилович М.В. - д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры ЭТТ

Аннотация: В статье рассматривается переход от традиционных носимых IoT-устройств с литиевыми аккумуляторами к полностью автономным биосенсорным платформам. Представлена передовая архитектура, объединяющая гибридный энергосъем на базе ферментных биотопливных элементов (BFC) и трибоэлектрических наногенераторов (TENG). Описана интеграция систем управления питанием с алгоритмами MPPT, гибких наноструктурированных суперконденсаторов и сверхмалопотребляющих пассивных каналов связи (NFC, RF Backscatter). Рассмотрены аспекты применения углеродных наноматериалов и технологий Edge AI. Предложенный подход формирует методологическую основу для создания необслуживаемых медицинских патч-систем непрерывного телемедицинского мониторинга.

Ключевые слова: биосенсоры, носимая электроника, биотопливные элементы, наногенераторы, TENG, суперконденсаторы, пассивная телеметрия, телемедицина, Edge AI.

Введение. Современные носимые биосенсорные платформы, находящиеся в авангарде персонализированной медицины, по-прежнему в значительной степени зависят от традиционных литиевых аккумуляторов. Это обстоятельство формирует их ключевое конструктивное ограничение и методологическую дилемму: при увеличении емкости источника неизбежно растут масса и габариты устройства, ограничивая мобильность пользователя и повышая дискомфорт, тогда как при уменьшении размеров резко сокращается срок автономной работы [1, 2]. Для имплантируемых решений, таких как кардиостимуляторы или нейростимуляторы, проблема приобретает еще более жесткий и критический характер, поскольку разряд источника питания нередко означает прямую необходимость повторного хирургического вмешательства, сопряженного с рисками для пациента.

На этом фоне концепция самопитающихся (self-powered) систем выглядит не просто привлекательной идеей, а единственно методологически обоснованной парадигмой развития. Устройство должно извлекать энергию из тех же физиологических или биомеханических процессов, которые оно регистрирует, переходя от режима периодического обслуживания к непрерывной эксплуатации. Этот сдвиг парадигмы требует пересмотра не только аппаратной части, но и всей методологии сбора и обработки медицинских данных [3].

Основная часть. Механизмы сбора энергии: сравнение классического и передового подходов

В контексте носимой электроники наиболее перспективными считаются два класса автономных источников: биоэнергетические элементы и трибоэлектрические наногенераторы (TENG). Каждый из них имеет свои преимущества и ограничения, и их синергетическое объединение является ключом к созданию надежных систем.

Традиционный IoT-подход: многие существующие разработки в области носимого Интернета вещей (IoT) по-прежнему используют устаревшие архитектурные решения. Как показано на блок-схеме стандартного IoT-устройства (рисунок 1), энергетическая цепь часто выглядит так: Пьезоэлектрические преобразователи (источник) → Схема умножения напряжения → Модуль зарядки аккумулятора → Аккумулятор (накопитель). Эта цепочка характеризуется множественными преобразованиями и потерями энергии. Например, пьезоэлектрики выдают высокое напряжение, которое необходимо умножить и затем преобразовать в низкий зарядный ток, что снижает общий КПД. Использование традиционного аккумулятора в качестве единственного буфера ограничивает гибкость и срок службы. Кроме того, этот подход часто полагается на энергоемкие WiFi модули для прямой

связи с веб-страницами, что быстро истощает энергию, полученную от харвестеров. Это базовая конфигурация с серьезными ограничениями.

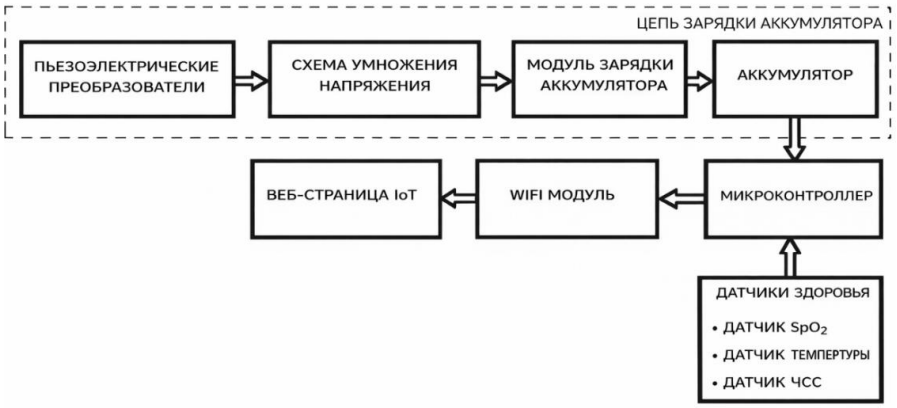


Рисунок 1 – Блок-схема традиционного носимого IoT-устройства

Передовой автономный подход: в отличие от классической модели, в статье обсуждается переход к более эффективной и гибкой архитектуре, представленной на блок-схеме автономного устройства (рисунок 2). Здесь биотопливные элементы (BFC) и TENG используются в качестве параллельных источников, оптимизируя сбор энергии. Наноструктурирование материалов, описанное ниже, является ключом к эффективности этих компонентов.



Рисунок 2 – Блок-схема усовершенствованной телемедицинской патч-системы с гибридным энергосъемом

Для наглядного сопоставления ключевых технических и эксплуатационных параметров двух подходов в таблице 1 представлен сравнительный анализ рассматриваемых систем мониторинга.

Таблица 1 – Сравнительный анализ характеристик систем мониторинга

Параметр	Традиционный IoT (рисунок 1)	Автономная платформа (рисунок 2)
Источник питания	Литиевый аккумулятор	Гибрид BFC + TENG
Срок службы	Ограничен емкостью (1-2 дня)	Неограничен (Self-powered)
Вес и габариты	Высокие (из-за АКБ)	Сверхнизкие (гибкие пленки)
Протокол связи	Wi-Fi / Bluetooth (High Power)	NFC / Backscatter (Zero Power)
Экологичность	Проблемы утилизации лития	Биоразлагаемые наноматериалы
Обслуживание	Требует частой подзарядки	Не требует обслуживания

Ферментные биотопливные элементы (BFC) представляют собой элегантный вариант прямого преобразования химической энергии метаболитов организма в электрическую. Молекулы аналита, такого как глюкоза или лактат, выступают одновременно и в роли топлива, и в роли аналитического индикатора, что позволяет создавать «умные» биосенсоры с нулевым потреблением на сенсинг. Для эффективной работы BFC критически важно наноструктурирование электродов. Использование углеродных нанотрубок (CNT) и графена обеспечивает высокую удельную поверхность (рисунок 3), на которой иммобилизуется фермент.

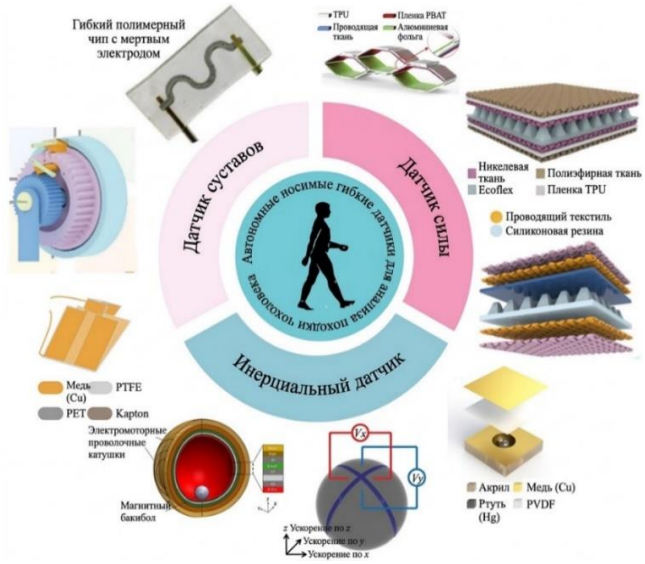


Рисунок 3 – Конструктивное исполнение и материальная база гибких носимых датчиков

Например, в лактат-кислородном элементе на аноде используется лактатоксидаза (см. рисунок 3), а на катоде – кислородвосстанавливающий катализатор (билирубиноксидаза) [3]. Чем больше площадь поверхности CNT/графенового анода, тем выше плотность тока, поскольку CNT/графен не только увеличивают площадь иммобилизации, но и облегчают прямой перенос электронов. Экспериментальные образцы носимых биоэлементов демонстрируют мощность от десятков до сотен микроватт [1, 3]. Продвинутые конструкции используют многослойные CNT/графен/CNT электроды для максимизации этого эффекта, достигая плотности мощности до 1 мВт/см².

Трибоэлектрические наногенераторы (TENG) работают за счет использования механического движения тела. При периодическом контакте и разделении двух материалов с различной электроотрицательностью возникает эффект контактной электризации, формирующий импульсный высоковольтный сигнал [4]. Характерная электрофизическая особенность TENG заключается в сочетании высокого напряжения и малого тока. Из-за этого генератор целесообразно использовать не для прямого питания, а как компонент для медленного накопления заряда в высокоэффективном буфере (см. рисунок 2). Наноструктурирование поверхности также критично для TENG. Создание наноразмерных массивов на поверхности PTFE/Al пленок значительно увеличивает эффективную площадь контакта, а CNT/графеновые электроды обеспечивают низкое внутреннее сопротивление (см. рисунок 3).

Комбинирование этих принципов в гибридные схемы значительно повышает отказоустойчивость. BFC и TENG работают синергетически. BFC обеспечивает базовый, стабильный ток (например, от метаболитов в поту), а TENG компенсирует дефицит энергии при активном движении (см. рисунок 2). Этот гибридный подход позволяет перекрывать фазы физической активности и периоды покоя: при снижении потоотделения дефицит компенсируется механическим каналом, а при минимальных движениях химический канал обеспечивает базовое питание микроконтроллера [1].

Архитектура управления питанием и энергетический баланс. Критически важным звеном в автономной системе является система управления питанием (Power Management System), представленная на блок-схеме (см. рисунок 2). Носимая электроника требует

сверхнизковольтных преобразователей, способных стартовать при входных напряжениях порядка сотен или даже десятков милливольт. На практике используются многоступенчатые схемы с цепями «холодного старта».

В отличие от традиционного подхода, продвинутая система включает в себя:

Систему MPPT (отслеживание точки максимальной мощности): поскольку выходные параметры BFC и TENG динамически меняются, алгоритмы MPPT подстраивают эквивалентную нагрузку преобразователя под текущие параметры генератора в режиме реального времени. Это гарантирует извлечение максимальной доступной мощности [5].

Гибкий суперконденсатор (энергобуфер): это ключевое отличие. Использование гибкого суперконденсатора вместо аккумулятора решает проблему медленной зарядки и ограниченного срока службы. Суперконденсатор способен аккумулировать заряд при неравномерном поступлении энергии и отдавать его мощными импульсами при пиковой нагрузке [6]. Использование высокоплотных CNT/графеновых электродов в суперконденсаторе (см. рисунок 3) обеспечивает высокую емкость.

Для энергетического баланса показано, что питание от суперконденсатора подается на микроконтроллер, который управляет датчиками и осуществляет обмен данными. Критически важно, чтобы совокупное энергопотребление системы не превышало мощность BFC и TENG.

Интеграция системы: вычислительные задачи и пассивная телеметрия. Современные микроконтроллерные системы на кристалле способны функционировать в микроваттном диапазоне. Сенсорный модуль с NFC-меткой может получать энергию от поля внешнего считывателя (на частоте 13,56 МГц) и работать без собственной батареи [7]. Альтернативным каналом является радиочастотный backscatter (обратное рассеяние). В этом режиме устройство не генерирует собственную радиопередачу, а изменяет импеданс антенны, модулируя отраженный внешний несущий сигнал [8]. Основная часть энергетических затрат перекладывается на внешний источник.

Материалы и технологии изготовления: от теории к практике. Для реализации самопитающихся систем критически важна материальная база, способная сочетать высокую электропроводность, гибкость и биосовместимость. Углеродные наноматериалы (нанотрубки, графен, MXene-пленки) и проводящие полимеры (PEDOT:PSS) играют центральную роль. Они служат основой для наноструктурированных электродов с высокой удельной поверхностью (см. рисунок 3).

В автономной носимой электронике востребованы углеродно-эластомерные композиты и MXene-пленки. Двумерные карбиды и нитриды переходных металлов (MXene) обеспечивают высокую электропроводность и возможность химической модификации поверхности [9]. Углеродно-эластомерные композиты успешно применяются в гибких электродах для BFC и контактных слоях TENG (см. рисунок 3).

С точки зрения производства преобладают методы печатной электроники (трафаретная печать), позволяющие наносить функциональные чернила на эластичные подложки из полиуретана (TPU) или силикона, формируя устройства, устойчивые к деформациям [9].

Edge AI и проблемы физиологической реализуемости. Несмотря на прогресс, практическая реализация сопряжена с фундаментальными проблемами, такими как нестабильность мощности и деградация ферментов [3, 5]. Для решения этих проблем интегрируются алгоритмы Edge AI (Граничного ИИ). Edge AI позволяет обрабатывать данные непосредственно на чипе, фильтруя шум и выявляя аномалии до передачи. Это не только снижает объем передаваемой информации, что критично для энергетического бюджета, но и позволяет компенсировать дрейф сенсоров за счет использования адаптивных моделей [10].

Заключение. Проведенный анализ подтверждает, что переход к полностью автономным биосенсорным системам является не просто техническим усовершенствованием, а фундаментальным парадигмальным сдвигом в развитии носимой медицинской электроники. В ходе исследования показано, что ключевым фактором успеха такой трансформации является конвергенция трех научно-технологических направлений: междисциплинарного материаловедения (использование MXenes, УНТ и графена), передовой схемотехники сверхнизкого энергопотребления (алгоритмы MPPT и цепи холодного старта) и инновационных протоколов беспроводной связи (пассивный Backscatter).

Синергетическое объединение биотопливных элементов (BFC) и трибоэлектрических наногенераторов (TENG) позволяет эффективно нивелировать стохастический характер биоэнергетических процессов, обеспечивая энергетическую устойчивость системы как в

состоянии покоя, так и при активных физических нагрузках. Интеграция гибких суперконденсаторов и технологий Edge AI завершает архитектуру устройства, превращая его из простого преобразователя сигналов в интеллектуальный диагностический узел, способный функционировать в условиях прерывистого энергоснабжения.

Несмотря на достигнутые результаты в области повышения КПД харвестеров, на пути к массовому клиническому внедрению остаются открытые вопросы, связанные с биосовместимостью интерфейсов и долгосрочной стабильностью ферментативных катализаторов в условиях сложной химической среды человеческого организма.

В связи с вышеизложенным, перед научным сообществом встает важный исследовательский вопрос: «Сможем ли мы в ближайшее десятилетие преодолеть термодинамический барьер деградации биоферментных катализаторов, чтобы обеспечить стабильную плотность мощности, достаточную для реализации полностью автономных нейроморфных вычислений (On-chip Neuromorphic Computing) непосредственно на кожном покрове пациента?»

Список литературы

1. *Self-Powered Biosensors for Monitoring Human Physiological Changes / J. Wang [et al.] // Biosensors and Bioelectronics. 2023. Vol. 224. P. 142–158.*

2. *Energy Solutions for Wearable Sensors: A Review / A. Smith [et al.] // Advanced Materials. 2021. Vol. 33, No 19. P. 45–62.*

3. *From Lab to Life: Self-Powered Sweat Sensors and Their Future in Personal Health Monitoring / C. Lee [et al.] // ACS Sensors. 2025. Vol. 10, No 2. P. 215–230.*

4. *Recent Progress in Energy Harvesting Systems for Wearable Technology / X. Chen [et al.] // Nano Energy. 2023. Vol. 106. P. 312–330.*

5. *Using Cold-Start Circuits in Energy Harvesting Systems for Medical Implants / M. Rossi, K. Patel // IEEE Transactions on Power Electronics. 2024. Vol. 39, No 4. P. 4510–4522.*

6. *Flexible CNT/Graphene Supercapacitors / Y. Zhang [et al.] // ACS Nano. 2024. Vol. 18, No 6. P. 5420–5435.*

7. *Passive Wireless Communication / T. Nguyen, S. Williams // IEEE Transactions on Communications. 2023. Vol. 71, No 8. P. 4812–4825.*

8. *Backscatter Communication for Body Area Networks / R. Gupta [et al.] // Computer Networks. 2024. Vol. 240. P. 110–125.*

9. *Materials for Printed Bioelectronics / E. Davis [et al.] // Materials Today. 2025. Vol. 82. P. 88–105.*

10. *Edge Intelligence for Healthcare / H. Kim, L. Chen // Nature Electronics. 2024. Vol. 7, No 1. P. 22–35.*

UDC 615.47:681.586

DESIGN OF AUTONOMOUS SELF-POWERED WEARABLE BIOSENSOR SYSTEMS FOR LONG-TERM HEALTH MONITORING

Ahmed Sohaib

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Tumilovich M.V. – Dr. of Sci., Professor, Professor of the department of ETIT

Annotation. The article discusses the transition from traditional wearable IoT devices powered by lithium batteries to fully autonomous biosensor platforms. An advanced architecture is presented, combining hybrid energy harvesting based on enzymatic biofuel cells (BFC) and triboelectric nanogenerators (TENG). The study describes the integration of power management systems featuring MPPT algorithms, flexible nanostructured supercapacitors, and ultra-low-power passive communication channels (NFC, RF Backscatter). Aspects of carbon nanomaterial applications and Edge AI technologies are also considered. The proposed approach establishes a methodological framework for developing maintenance-free medical patch systems for continuous telemedicine monitoring.

Keywords: biosensors, wearable electronics, biofuel cells, nanogenerators, TENG, supercapacitors, passive telemetry, telemedicine, Edge AI.

УДК 621.396.6.002:621.791.3

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИФРОВОЙ ПАЯЛЬНОЙ СТАНЦИИ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПАЯЛЬНИКА ПРИ МОНТАЖЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Нестерович Е.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Алексеев В.Ф. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. В статье проводится сравнительный анализ эффективности цифровой паяльной станции с микроконтроллерным управлением и традиционного электрического паяльника. Рассматриваются особенности конструкции, точность поддержания температуры и эксплуатационные характеристики устройств. Показано преимущество цифровых систем регулирования в обеспечении качества пайки и надежности электронных компонентов.

Ключевые слова: паяльная станция, паяльник, микроконтроллер.

Введение. Пайка является одним из наиболее распространенных и критически важных технологических процессов в производстве радиоэлектронных средств (РЭС). От качества выполнения паяных соединений напрямую зависят надежность, долговечность и безотказность работы электронных устройств, поскольку именно паяные соединения представляют собой наиболее уязвимый элемент конструкции с точки зрения возникновения отказов в процессе эксплуатации [1, с. 154]. В условиях постоянного усложнения РЭС, миниатюризации компонентов и ужесточения требований к надежности проблема обеспечения высокого качества пайки приобретает особую актуальность.

В современной практике монтажа и ремонта электронной аппаратуры используются два основных типа инструментов для выполнения паяных соединений. Первый тип – традиционный электрический паяльник (рисунок 1), представляющий собой нагревательный элемент, размещенный в металлическом корпусе, с медным жалом, передающим тепло в зону пайки. Мощность такого инструмента фиксирована, температура жала определяется балансом между подводимой тепловой мощностью и теплоотводом в окружающую среду и соединяемые детали [2, с. 26].



Рисунок 1 –Внешний вид традиционного паяльника

Второй тип – цифровая паяльная станция (рисунок 2), включающая в себя блок управления с микроконтроллером, источник питания и паяльник с датчиком температуры.

Микроконтроллер непрерывно отслеживает температуру жала и регулирует мощность нагрева для поддержания заданного значения с точностью до ±5–10 °C [3, с. 44].



Рисунок 2 – Пример внешнего вида паяльной станции

Несмотря на очевидные функциональные преимущества паяльных станций (стабилизация температуры, возможность работы с различными типами компонентов, дополнительные сервисные функции), традиционные электрические паяльники остаются наиболее распространенным инструментом благодаря низкой стоимости, простоте конструкции и неприхотливости в эксплуатации [3, с. 27]. При этом в научно-технической литературе практически отсутствуют систематические исследования, посвященные количественному сравнению эффективности данных типов инструментов с точки зрения качества формируемых паяных соединений, производительности труда и надежности конечного изделия. Большинство публикаций сосредоточено на исследовании свойств припоев [4; 5; 7], вопросах усталостной прочности паяных соединений [7] или тепловых характеристиках отдельных элементов паяльного оборудования [2].

Отсутствие систематизированных данных о сравнительной эффективности цифровой паяльной станции и традиционного электрического паяльника создает проблему обоснованного выбора инструмента при организации производства или оснащении ремонтной мастерской, а также затрудняет оптимизацию технологических режимов пайки для каждого типа оборудования.

Целью исследований является экспериментальное сравнение эффективности цифровой паяльной станции и электрического паяльника при монтаже радиоэлектронных устройств на основе количественной оценки качества формируемых паяных соединений и анализа дефектности.

Основная часть. Традиционный электрический паяльник представляет собой простое устройство с нагревательным элементом мощностью 25-60 Вт и, чаще всего, медным жалом с покрытием. Температура жала формируется напрямую мощностью и теплоотдачей, поэтому при работе с массивными элементами она может снижаться на 40-60°C, а при длительном нагреве превышать 400-450°C, что существенно влияет на качество пайки и срок службы компонентов. Время выхода на рабочую температуру составляет 120-300 секунд, а точность поддержания режима ограничена ±50°C (см. рисунок 1).

Из-за отсутствия системы обратной связи увеличивается риск перегрева или недостаточного прогрева спаиваемого места, особенно при работе с чувствительными элементами *SMD*. Средний ресурс жала при активной эксплуатации составляет 1-2 года, после

чего появляются механические повреждения или накопление окислов, снижающих эффективность пайки.

Цифровая паяльная станция (см. рисунок 2) решает эти проблемы за счет интеграции термодатчика/термопары и микроконтроллера, управляющего мощностью нагрева через широтно-импульсную модуляцию. В современных моделях мощность жала составляет 50-80 Вт, диапазон регулирования температуры – 200-480°C, а точность поддержания заданного значения достигает ±2°C. Время выхода на рабочую температуру составляет всего 15-30 секунд, что ускоряет рабочий процесс и снижает тепловые потери. Система обратной связи мгновенно реагирует на изменение нагрузки, предотвращая перегрев жала и электронных компонентов. Кроме того, в современных паяльных станциях стоит автоматическая защита, которая ограничивают максимальную температуру и отключает питание при превышении 480°C, что повышает безопасность работы.

Чаще всего в паяльных станциях используются никелированные жала, которые в отличии от медных окисляются гораздо меньше, комфорт их использования гораздо выше, а срок службы может достигать от 3 до 5 лет. Также в паяльных станциях не редко используются дополнительные выходы для работы с внешними устройствами, такими как паяльный фен или нагревательный стол для более эффективной работы с *SMD* компонентами.

Для наглядности представим сравнение изделий в таблице 1:

Таблица 1 – Сравнение характеристик паяльных инструментов

Параметр	Традиционный паяльник	Цифровая паяльная станция
Мощность	25-60 Вт	50-80 Вт
Диапазон температур	200-450°C	200-480°C
Точность поддержания температуры	±50°C	±2°C
Время выхода на рабочую температуру	120-300 сек	15-30 сек
Наличие защиты от перегрева	Нет	Есть, отключение при превышении 480°C
Контроль температуры	Нет	Автоматический, с обратной связью
Ресурс жала	1-2 года при активной эксплуатации	3-5 лет при активной эксплуатации
Тип жала	Медное/ медное с покрытием	Никелированное
Дополнительный функционал	Нет	Фен, нагревающийся стол

Таким образом, цифровая паяльная станция обладает преимуществами в точности поддержания температуры, скорости выхода на режим, долговечности и безопасности, тогда как традиционный паяльник остается более простым решением для нерегулярной или бытовой пайки.

Заключение. Сравнительный анализ показал, что цифровая паяльная станция существенно превосходит традиционный паяльник по точности поддержания температуры, времени выхода на рабочий режим, долговечности и функциональности. Традиционный паяльник целесообразно использовать для простых монтажных и бытовых работ, тогда как цифровая станция необходима при работе с компонентами, чувствительными к температурным колебаниям.

Использование микроконтроллерного управления повышает качество пайки, снижает риск повреждения компонентов и улучшает условия работы пользователя.

Цифровые паяльные станции являются более перспективным направлением развития паяльного оборудования и широко применяются как в профессиональной, так и в учебной деятельности.

Список литературы

1. *Тресков, Б.А. Анализ моделей усталостной прочности припоев и паяльных паст / Б.А. Тресков // Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций : материалы Всероссийской научно-технической конференции (г. Самара, 21-23 апреля 2020 г.) / Самар. нац. исслед. ун-т им. С. П. Королева ; под ред. А.И. Данилина. – Самара : ООО «Вектор», 2020. – С. 154–155.*
2. *Московкина, Е. Паяльник или паяльная станция: сложности выбора / Е. Московкина // Технологии в электронной промышленности. – 2015. – Т. 6. – № 82. – С. 44–45.*
3. *Новоселов, В. Электрический паяльник инженера Сакса. История и современность / В. Новоселов // Компьютерные технологии. – 2000. – № 3. – С. 82–85.*
4. *Ланин, В.Л. Модификация паяльных паст углеродными наночастицами / В.Л. Ланин, А.В. Слижёва, Д.Ю. Ковалёв // Актуальные проблемы физики, электроники и энергетики : электронный сборник статей II Международной научно-практической конференции, Новополоцк, 14 ноября 2024 г. / Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой. – Новополоцк, 2025. – С. 140–145.*
5. *Ковалёв, Д.Ю. Упрочнение паяных соединений в электронных модулях / Д.Ю. Ковалёв, А.В. Слижёва, В.Л. Ланин // Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций : 21-я Международная молодёжная научно-техническая конференция : сборник научных трудов, Севастополь, 6–10 октября 2025 г. / Севастопольский государственный университет. – Москва-Севастополь : РНТОРЭС им. А.С. Попова : СевГУ, 2025. – № 8. – С. 126.*
6. *Тресков, Б.А. Анализ моделей усталостной прочности припоев и паяльных паст / Б.А. Тресков // Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций : материалы Всероссийской научно-технической конференции (г. Самара, 21-23 апреля 2020 г.) / Самар. нац. исслед. ун-т им. С. П. Королева ; под ред. А.И. Данилина. – Самара : ООО «Вектор», 2020. – С. 154–155.*
7. *Штенников, В.Н. Исследование тепловых характеристик паяльных стержней / В.Н. Штенников // Метрология. – 2017. – № 2. – С. 26–30.*
8. *Цифровая паяльная станция [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cxem.net/mc/mc55.php*
9. *Микроконтроллерные системы управления [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cxem.net/mc/mc68.php*
10. *Все, что нужно знать о паяльных станциях [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://atten-rus.com/knowledgebase/articles/chto-takoe-payalnaya-stantsiya/*

UDC 621.396.6.002:621.791.3

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF A DIGITAL SOLDERING STATION AND AN ELECTRIC SOLDERING IRON IN THE ASSEMBLY OF RADIOELECTRONIC EQUIPMENT

Nesterovich Y.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Alexeev V.F. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. This article provides a comparative analysis of the efficiency of a digital microcontroller-controlled soldering station and a traditional electric soldering iron. Design features, temperature control accuracy, and operational characteristics of the devices are discussed. The advantages of digital control systems in ensuring soldering quality and the reliability of electronic components are demonstrated.

Keywords: Soldering station, soldering iron, microcontroller.

УДК 004.4:616.12-073.97

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ НАРУШЕНИЯ СЕРДЕЧНОГО РИТМА

Карпинчик Г.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Дик С.К. – к.ф.-м.н., доцент, заведующий кафедрой ИКГ

Аннотация. В статье рассматривается разработка программного обеспечения для автоматизированного анализа электрокардиограмм с целью выявления нарушений сердечного ритма. В работе анализируются методы предварительной цифровой обработки ЭКГ-сигнала, алгоритмы обнаружения R-пиков и подходы к классификации аритмий. Предложена модульная архитектура системы, включающая блок фильтрации сигнала, модуль выделения диагностических признаков, алгоритм распознавания нарушений ритма и мобильный интерфейс отображения результатов.

Ключевые слова: электрокардиограмма, аритмия, цифровая обработка сигнала, программное обеспечение, Python, React Native Expo

Введение. Современные цифровые методы регистрации электрокардиограммы позволяют получать большие объемы данных о сердечной деятельности пациента. При этом ручной анализ ЭКГ требует значительных временных затрат и зависит от квалификации специалиста. Автоматизация обработки электрокардиографических записей позволяет ускорить поиск патологических изменений, повысить объективность анализа и использовать программные средства для первичного скрининга нарушений сердечного ритма.

Целью данной работы является разработка программного обеспечения для автоматизированного анализа электрокардиограмм, обеспечивающего фильтрацию сигнала, выделение диагностически значимых признаков и формирование заключения о наличии признаков аритмии.

Основная часть. Анализ методов цифровой обработки ЭКГ. Обработка электрокардиографического сигнала включает подавление дрейфа изолинии, фильтрацию сетевых и высокочастотных помех, обнаружение комплекса QRS и вычисление временных параметров сердечного ритма. В качестве базового метода детектирования характерных точек широко используется алгоритм Pan-Tompkins, позволяющий надежно выделять R-пики и рассчитывать интервалы RR. Для повышения качества распознавания аритмий дополнительно применяются методы извлечения морфологических и статистических признаков, а также алгоритмы машинного обучения и нейросетевые модели.

Используемые данные и алгоритмы классификации. Для обучения и тестирования систем автоматизированного анализа широко применяются открытые базы электрокардиограмм, в том числе MIT-BIH Arrhythmia Database и PTB-XL. На основе выделенных признаков могут определяться синусовая тахикардия, синусовая брадикардия, нерегулярный ритм и отдельные эпизоды экстрасистолии. В разрабатываемом программном обеспечении используется модульный подход, при котором этап предварительной фильтрации отделен от этапа классификации, что упрощает отладку и последующее расширение функциональных возможностей системы.

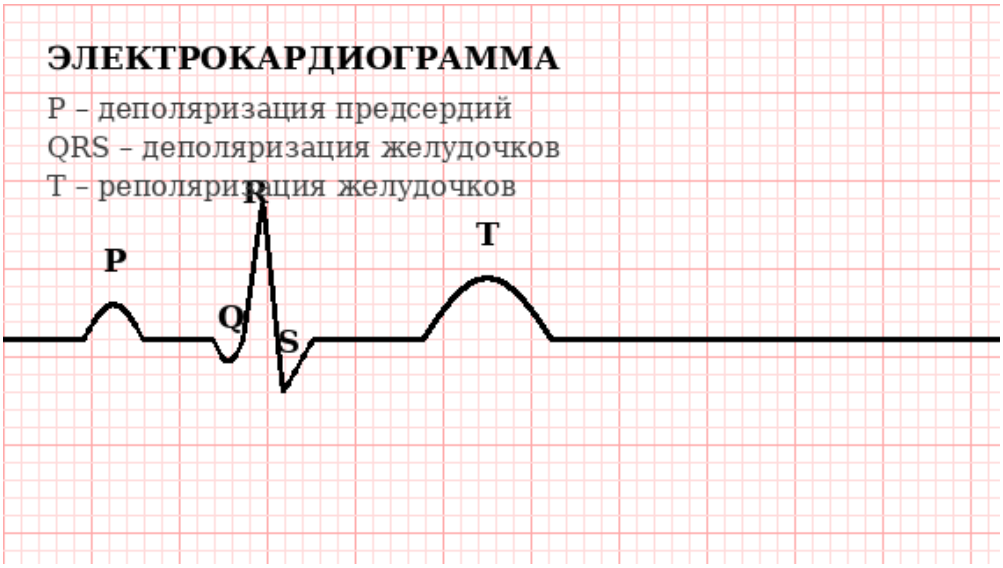


Рисунок 1 – Пример одноцикловой электрокардиограммы с основными элементами PQRST



Рисунок 2 – Структурная схема алгоритма автоматизированного анализа ЭКГ



Рисунок 3 – Пример интерфейса мобильного приложения для отображения ЭКГ и результатов анализа

Архитектура и реализация приложения. Программное обеспечение разработано на языке Python, а пользовательский интерфейс мобильного приложения реализован средствами React Native Expo.



Рисунок 4 – Архитектура разработанного программного обеспечения анализа электрокардиограмм

Архитектура системы построена по модульному принципу и включает прием ЭКГ-данных, предварительную фильтрацию, выделение признаков, классификацию нарушений сердечного ритма и визуализацию результатов. Такой подход упрощает сопровождение программного обеспечения и позволяет расширять его функциональные возможности.

Заключение. В результате выполнения работы предложена структура программного обеспечения для автоматизированного анализа электрокардиограмм. Разработанная концепция объединяет методы цифровой обработки сигнала, алгоритмы выделения признаков и средства отображения результатов пользователю.

Список литературы

1. *Pan J. A real-time QRS detection algorithm / J. Pan, W.J. Tompkins // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. – 1985. – Vol. 32, No. 3. – P. 230–236.*

2. *Wagner P. PTB-XL, a large publicly available electrocardiography dataset / P. Wagner, N. Strodthoff, R.-D. Bousseljot [et al.] // Scientific Data. – 2020. – Vol. 7. – Art. 154.*

3. *Jha C.K. Automated cardiac arrhythmia detection techniques / C.K. Jha // Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering. – 2025. – Vol. 28, No. 10. – P. 1639–1654.*

UDC 004.4:616.12-073.97

SOFTWARE FOR AUTOMATED ANALYSIS OF ELECTROCARDIOGRAMS FOR DETECTING CARDIAC ARRHYTHMIAS

Karpinchik G.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Dik S.K. – Cand. of Sci.(Phys. and Math.), associate professor, Head of the Department of engineering and computer graphics

Annotation. The article discusses software for automated electrocardiogram analysis aimed at detecting cardiac rhythm disorders. Methods of ECG preprocessing, R-peak detection, feature extraction and arrhythmia classification are considered.

Keywords: electrocardiogram, arrhythmia, signal processing, software, Python

УДК 004.8:616.8-07

СИСТЕМА СКРИНИНГОВОЙ ДИАГНОСТИКИ НЕЙРОДЕГЕНЕРАТИВНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ГРАФИЧЕСКИХ ПАТТЕРНОВ

Близнюк В.Д.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Дик С.К. - к. ф.-м. н., доцент, заведующий кафедрой ИКГ

Аннотация. В статье рассматривается разработка мобильного приложения для скрининговой диагностики нейродегенеративных заболеваний на основе анализа графических паттернов, формируемых пользователем на сенсорном экране. Анализируются особенности регистрации траектории движения пальца, выделения признаков тремора и использования методов машинного обучения для автоматической оценки выраженности симптомов. Предлагается модульная архитектура программного обеспечения, включающая интерфейс пользователя, блок сбора данных, модуль предварительной обработки, подсистему выделения признаков и блок формирования результата. Интерфейс мобильного приложения предполагается реализовать с использованием React Native Expo.

Ключевые слова: нейродегенеративные заболевания, тремор, графические паттерны, мобильное приложение, машинное обучение, React Native Expo

Введение. Современное развитие мобильных и интеллектуальных технологий позволяет использовать массово доступные устройства для решения задач первичной скрининговой диагностики. Для нейродегенеративных заболеваний одним из информативных проявлений являются моторные нарушения, в частности тремор, который может быть выявлен по особенностям выполнения графических тестов на сенсорном экране.

Целью данной работы является разработка системы скрининговой диагностики нейродегенеративных заболеваний на основе анализа графических паттернов, выполняемых пользователем на экране мобильного устройства, с последующей автоматической обработкой результатов и оценкой выраженности симптомов.

Основная часть. Теоретические основы оценки тремора по графическим паттернам связаны с анализом пространственно-временных характеристик траектории. При выполнении пользователем спирали, линии или другого тестового шаблона система регистрирует координаты точки касания, временные метки, скорость движения и отклонение траектории от эталонной формы. На основе этих данных могут быть вычислены частота, амплитуда и вариативность колебаний, а также другие диагностически значимые признаки.

Используемые графические тесты и данные. Для построения и проверки алгоритмов могут быть использованы наборы данных Parkinson Disease Spiral Drawings Using Digitized Graphics Tablet и Improved Spiral Test Using Digitized Graphics Tablet for Monitoring Parkinson's Disease, содержащие примеры спиральных рисунков пациентов с болезнью Паркинсона и контрольной группы. В качестве дополнительных источников информации о треморе могут использоваться Parkinson's Disease Tremor Dataset (ALAMEDA) и Parkinson's Disease Smartwatch Dataset. Совместное использование таких данных позволяет формировать признаки как по траектории рисунка, так и по динамике двигательной активности.

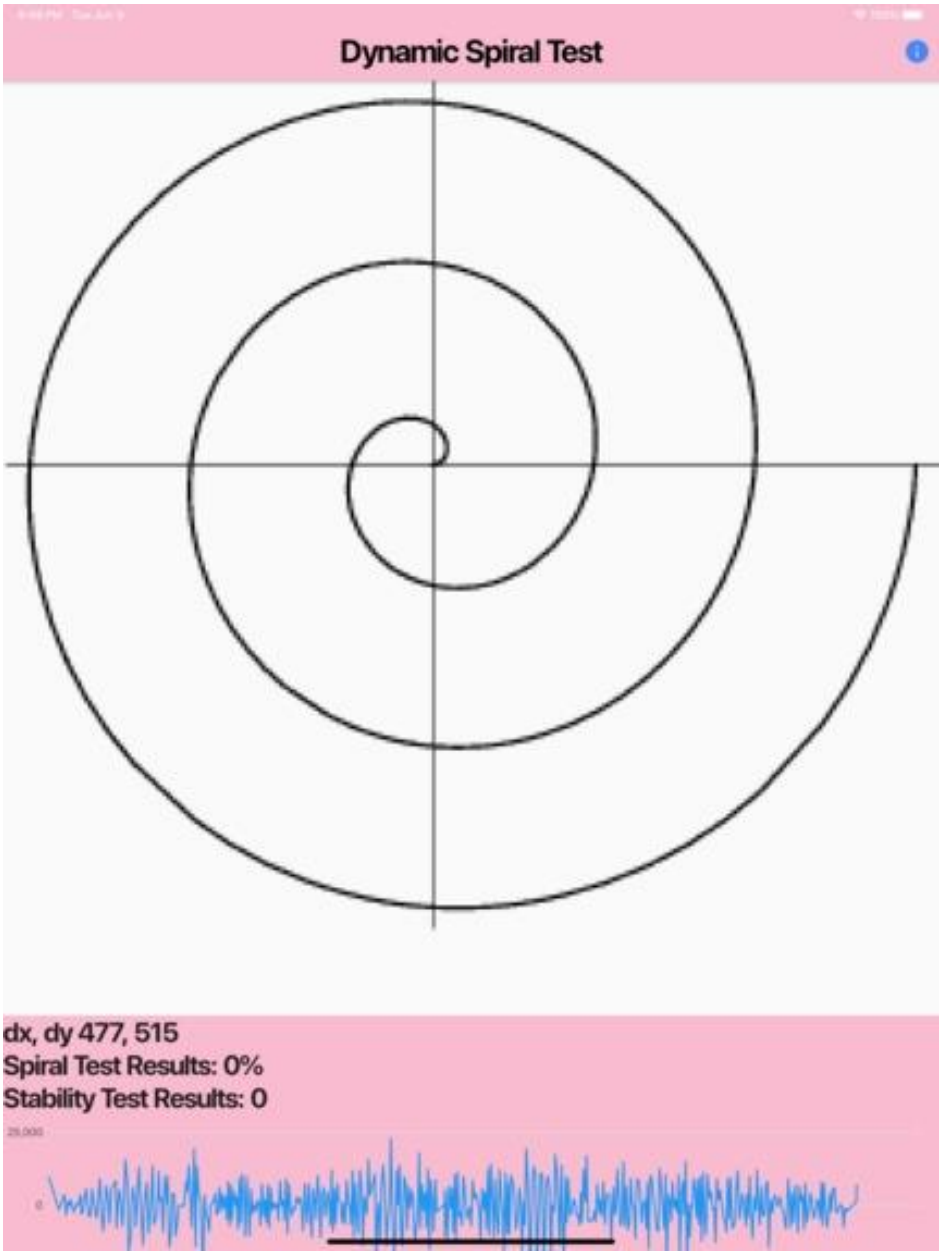


Рисунок 1 - Пример выделения признаков из графической траектории

Архитектура и реализация приложения. Интерфейс мобильного приложения предполагается реализовать на платформе React Native Expo. Архитектура системы строится по модульному принципу и включает экран проведения теста, модуль регистрации траектории, модуль предварительной обработки данных, блок вычисления признаков и подсистему интеллектуального анализа.

Архитектура системы обеспечивает возможность накопления результатов, сравнения текущих показателей с эталонными образцами и формирования итоговой оценки выраженности тремора. Использование модульного подхода упрощает последующее расширение функциональности, подключение новых графических тестов и интеграцию более сложных моделей машинного обучения.

Заключение. В результате выполнения работы сформирована концепция мобильной системы скрининговой диагностики нейродегенеративных заболеваний на основе анализа графических паттернов. Предложенная структура приложения обеспечивает регистрацию траектории движения пальца, вычисление признаков тремора и автоматическую оценку состояния пользователя. Разработанный подход может быть использован как основа для

дальнейшей реализации программного продукта и последующего обучения модели машинного обучения на специализированных наборах данных.

Список литературы

1. *Parkinson Disease Spiral Drawings Using Digitized Graphics Tablet [Электронный ресурс]. - Режим доступа: UCI Machine Learning Repository.*
2. *Isenkul M.E., Sakar B.E., Kursun O. Improved Spiral Test Using Digitized Graphics Tablet for Monitoring Parkinson's Disease.*
3. *Parkinson's Disease Tremor Dataset (ALAMEDA) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: Zenodo.*
4. *Parkinson's Disease Smartwatch Dataset [Электронный ресурс]. - Режим доступа: PhysioNet.*

UDC 004.8:616.8-07

SCREENING DIAGNOSTIC SYSTEM FOR NEURODEGENERATIVE DISEASES BASED ON GRAPHICAL PATTERN ANALYSIS

Bliznyuk V.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Dik S.K. - Cand. of Sci. (Phys. and Math.), associate professor, Head of the Department

Annotation. The article presents a mobile application for screening diagnostics of neurodegenerative diseases based on graphical patterns drawn on a touchscreen. The system records the trajectory of finger movement, extracts tremor-related features and applies machine learning methods to assess symptom severity. The mobile interface is planned to be implemented using React Native Expo.

Keywords: neurodegenerative diseases, tremor, graphical patterns, mobile application, machine learning, React Native Expo

УДК 621.793.184

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВТОРИЧНЫХ ИОННЫХ ПУЧКОВ И ПОТЕНЦИАЛА ДИАФРАГМЫ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ТИТАНА

Перепечко Е.Ю.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Телеш Е.В. – ст. преподаватель кафедры ЭТТ

Аннотация. Исследовано влияние тока вторичного ионного пучка и потенциала диафрагмы на характеристики тонкопленочных покрытий из титана, полученных осаждением из ионного пучка. Установлено, что увеличение положительного потенциала на диафрагме способствовало снижению удельного объемного сопротивления, росту температурного коэффициента сопротивления, оптического пропускания и адгезии.

Ключевые слова: тонкие пленки, титан, ионный пучок, ускоритель с анодным слоем, оптические характеристики, электрофизические характеристики, механические характеристики, морфология поверхности

Введение. Тонкие пленки из титана широко применяются в технике. В микроэлектронике тонкие пленки титана используются в качестве диффузионного барьера между различными металлическими слоями. При производстве сенсорных дисплеев титановые пленки используются для улучшения проводимости и долговечности дисплея. В оптической индустрии тонкие пленки титана используются для покрытия линз и зеркал. Современная промышленность требует разработки и совершенствования методов получения тонких пленок тугоплавких металлов. Широко применяется электронно-лучевое испарение и магнетронное распыление для формирования тонкопленочных покрытий из титана [1].

Новый метод нанесения тонких пленок посредством генерации потока из пучкового фокуса, формируемого в ускорителе с анодным слоем, является перспективным, т.к. позволяет управлять плотностью и энергией ионного пучка, применять дешевые блоки питания [2,3]. В данной работе будет исследовано влияние параметров вторичного ионного пучка и потенциала диафрагмы на характеристики тонкопленочных покрытий из титана.

Основная часть. Исследования осуществляли с использованием ускорителя с анодным слоем, работающего в режиме ионно-пучкового фокуса, смонтированного в установке вакуумного напыления ВУ-1А. Покрытия наносили на подложки из стекла и кремния.

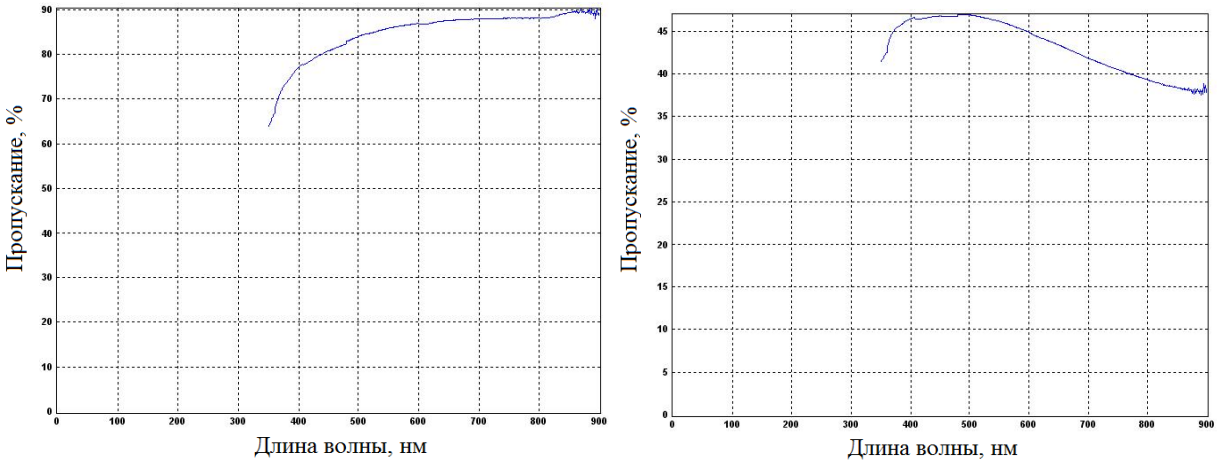
В таблице 1 приведены результаты измерений электрофизических и механических характеристик пленок титана.

Таблица 1 – Результаты измерений электрофизических и механических характеристик пленок титана

№ обр.	$U_а$, кВ	$I_р$, мА	$I_п$, мкА	$U_д$, В	d, нм	ρ_v, Ом·м	ТКС, $К^{-1}$	k
1	1,5	30	20	0	30	$5{,}3\cdot10^{-5}$	$-3{,}7\cdot10^{-4}$	0,42
2	1,8	40	24	0	40	$1{,}1\cdot10^{-5}$	$6{,}8\cdot10^{-4}$	0,38
3	2,3	50	30	0	26	$1{,}9\cdot10^{-5}$	$3{,}5\cdot10^{-3}$	0,45
4	2,3	50	32	35	26	$1{,}5\cdot10^{-5}$	$-1{,}3\cdot10^{-3}$	0,42
5	2,3	50	35	63	25	$3{,}9\cdot10^{-5}$	$-4{,}2\cdot10^{-3}$	0,48
6	2,3	50	39	95	23	$1{,}6\cdot10^{-5}$	$-5{,}0\cdot10^{-3}$	0,58
7	2,3	50	44	135	20	$0{,}3\cdot10^{-5}$	$-5{,}6\cdot10^{-3}$	0,29

Коэффициент трения практически не зависел от тока вторичного ионного пучка и находился в пределах 0,38 – 0,45.

Оптическое пропускание в видимом диапазоне составило при малых значениях $I_п$ 80 – 87 %, что также свидетельствует об окислении титана. Рост тока до 40 мкА привел к резкому снижению пропускания до 45 – 46 % (рисунок 1).

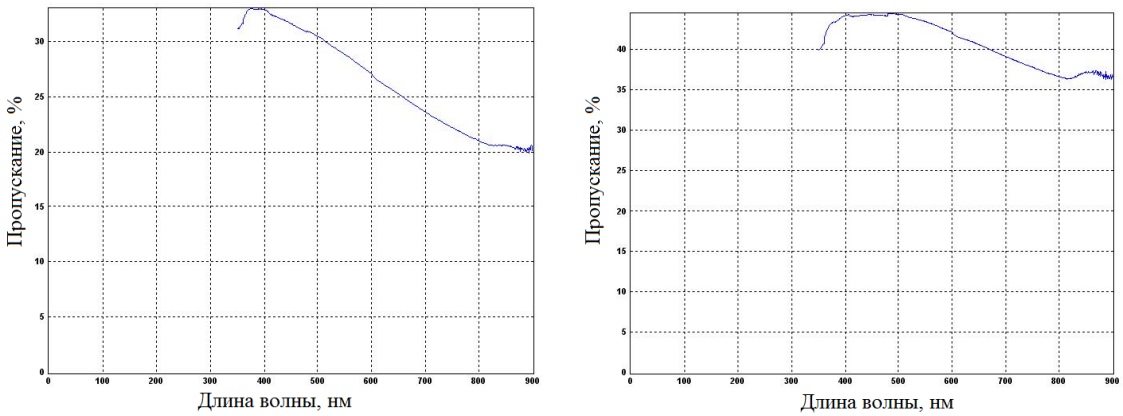


а б

Рисунок 1 – Спектры пропускания пленок титана при токе вторичного ионного пучка 20 мкА (а) и 42 мкА (б)

Наличие положительного потенциала на диафрагме способствовало снижению удельного объемного сопротивления из-за формирования более плотной структуры покрытий, т.к. энергия конденсирующихся ионов вырастала. Это также подтверждается снижением коэффициента трения до 0, 29 при $U_д$ = 125 В. Температурный коэффициент сопротивления (ТКС) был отрицательным, его величина увеличивалась с ростом потенциала на мишени. Это можно объяснить увеличением химического взаимодействия между атомами и ионами титана и остаточными газами из-за увеличения их энергии.

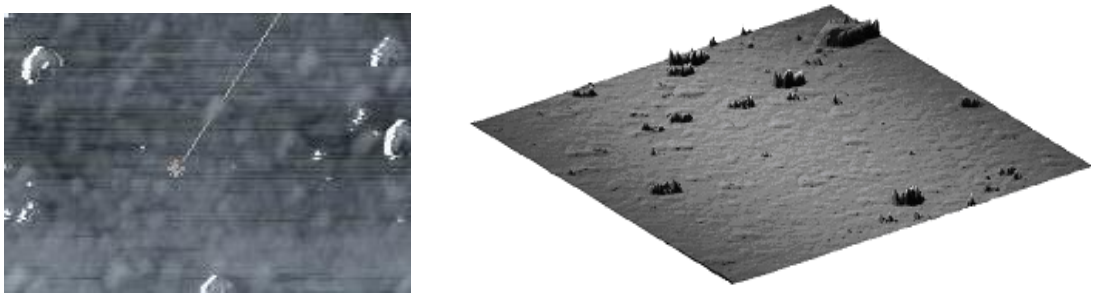
На рисунке 2 представлены спектры пропускания пленок титана, полученных при потенциале диафрагмы 35 и 125 В и токе вторичного ионного пучка 40 мкА. Установлено небольшое увеличение пропускания в видимой области спектра и значительное – в инфракрасной.



а б

Рисунок 2 – Спектры пропускания пленок титана при потенциале диафрагмы 35 В (а) и 125 В (б)

На рисунке 3 приведена морфология поверхности покрытий из титана на подложке из кремния, полученных при различных потенциалах диафрагмы.



а б

Рисунок 3 – Морфология покрытия из титана, полученного при потенциале диафрагмы 35 В (а) и 125 В (б)

Измерение адгезии покрытий на подложках из кремния методом насечек показало, что при росте $I_п$ и $U_д$ она составляла 4В – 5В по шкале ASTM, что также связано с повышением плотности покрытия из-за высокой энергии конденсирующихся ионов. Адгезия на стеклянных подложках была ниже – 3В – 4В.

Заключение. Проведенные исследования позволили определить влияние параметров вторичного пучка и потенциала диафрагмы на характеристики покрытий из титана. Установлено, что увеличение положительного потенциала на диафрагме способствовало снижению удельного объемного сопротивления, росту температурного коэффициента сопротивления, оптического пропускания и адгезии. В тоже время зависимость механических характеристик от вышеуказанных параметров имела неоднозначный характер.

Список литературы

1. *Ибраев, Н.Х. Получение пленок титана методом магнетронного распыления для синтеза пористых пленок диоксида титана/ Н.Х. Ибраев, Д.А. Афанасьев, Т.М. Сериков, Г.С. Аманжолова// Вестник Карагандинского университета. Серия «Физика». – № 4(80). – 2015. – С. 48 – 56.*

2. *Маишев, Ю.П. Ионно-лучевая обработка: осаждение тонких пленок из низкоэнергетичного пучка ионов / Ю.П. Маишев, С.Л. Шевчук // Труды ФТИАН, 2005. – Т.18. – С.148 – 160.*

3. *Гутенко, Н.Д. Формирование тонких пленок алюминия прямым осаждением из ионного пучка/ Н.Д. Гутенко, Е.Ю. Перепечко // Физика конденсированного состояния [Электронный ресурс] : материалы XXXIII Междунар. науч.-практ. конф. аспир., магистр. и студ., Гродно, 3 – 4 апр. 2025 г. / ГрГУ им. Янки Купалы, физ.-техн. фак. ; редкол.: Г. А. Гачко (гл. ред.), Н. Г. Валько (зам. гл. ред.) [и др.]. – Объём электрон. дан. 16,3 Мбайт, 40,0 уч.-изд. л. – Гродно: ГрГУ, 2025. – С. 28 – 30.*

UDC 621.793.184

STUDY OF THE INFLUENCE OF SECONDARY ION BEAM PARAMETERS AND APERTURE POTENTIAL ON THE CHARACTERISTICS OF THIN-FILM TITANIUM COATINGS

Perepechko E.Y.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Telesh E.V. – senior lecturer

Annotation. The influence of secondary ion beam current and aperture potential on the characteristics of thin-film titanium coatings obtained by ion beam deposition was studied. It was found that increasing the positive potential at the aperture resulted in a decrease in specific volume resistance and an increase in the temperature coefficient of resistance, optical transmittance, and adhesion.

Keywords. Thin films, titanium, ion beam, anode layer accelerator, optical characteristics, electrophysical characteristics, mechanical characteristics, surface morphology

UDC 537.525 : 579.24

THE EFFECT OF COLD PLASMA ON THE INHIBITION OF THE GENUS STAPHYLOCOCCUS BACTERIA

Provlockaya D.V., Panfilenko E.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Klokova A. G. – Cand. Of Sci., Associate Professor, Head of the Department of Foreign Languages
Kotov D.A. – Cand. Of Sci. (Tech.)., Associate Professor, Department of Micro- and Nanoelectronics

Annotation. Experimentally investigated the effect of cold plasma of dielectric barrier discharge on inhibition of bacteria of the staphylococcus family. It has been determined that when cleaning the coaxial discharge system in a fazzle with a gas flow rate of 180 l/h, a capacity of 40 W and a distance of 15 mm, full inactivation of the staphylococcus was reached within 10 minutes. For surface discharge, a similar effect was observed at 50 W, 10 mm distance and 15 minutes processing time.

Keywords: atmospheric plasma, coaxial discharge system, surface discharge, staphylococcus, inhibition

Introduction. Given the high pathogenicity and potential danger of staphylococci (Staphylococcus aureus, Staphylococcus saprophyticus) that can cause a wide range of infectious diseases, there is an urgent need to develop and implement new effective methods of disinfection, providing reliable inactivation of micro-organism data on different types of surfaces and objects in the external environment.

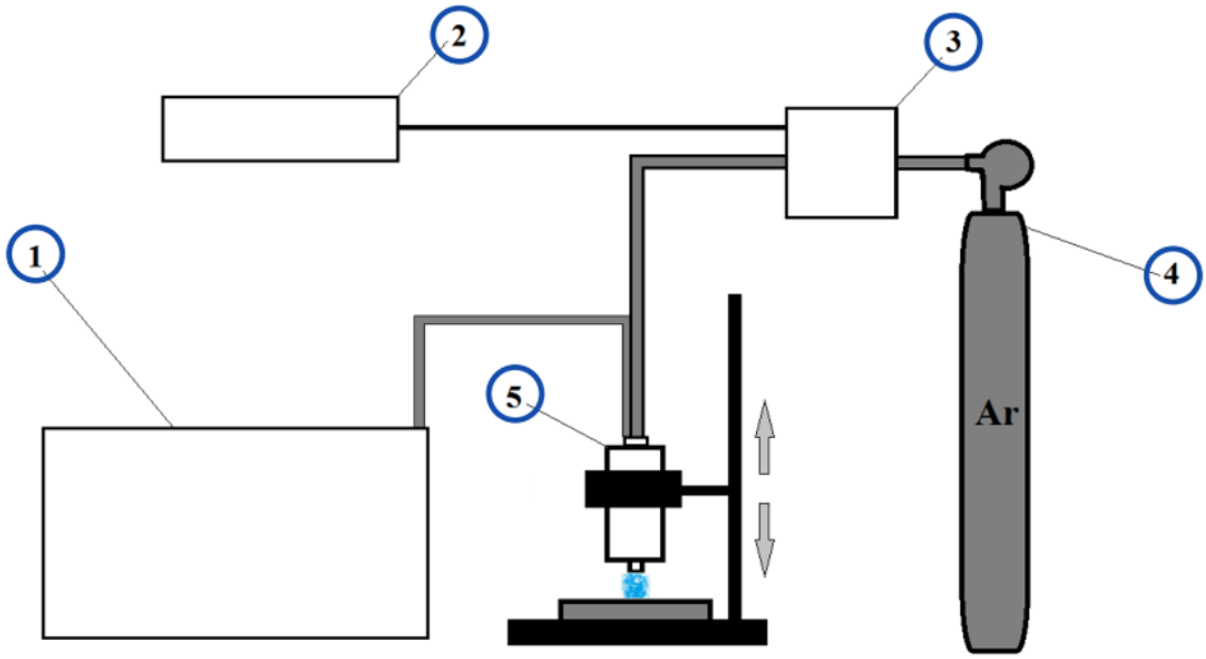
Bacteria of the genus Staphylococcus, including Staphylococcus aureus and coagulation-negative species (Staphylococcus saprophyticus), are among the most common human pathogens. They cause a wide range of diseases, from superficial pyroderma to severe invasive infections (pneumonia, endocarditis, osteomyelitis), as well as toxicosis. The threat is the spread of methicillin-resistant Staphylococcus aureus (MRSA) strains that are resistant to most β-lactam antibiotics [1]. The ability of staphylococci to form biofilms on the surface of medical implants and catheters further complicates therapy and requires new, nonscientific approaches to antimicrobial treatment.

Cold plasma is a partially ionized gas containing an unbalanced mixture of electrons, ions, neutral atoms, excited molecules and photons with temperatures close to the room. Plasma-generated active forms of oxygen and nitrogen, UV radiation and charged particles have a powerful bactericide effect, damaging the walls, membranes, proteins and DNA of microorganisms [2,3]. At the same time, the low plasma temperature allows biological tissues to be treated without risk of thermal damage.

It has been generally established that cold plasma can be an effective way to affect biological tissues in order to achieve various effects: antibacterial effect and inactivation of viruses, biocatalyst (aid in the decomposition of substances alien to the body – xenobiotics), for the treatment of diseases, associated with chronic inflammation and dangerous changes in the structure of proteins, which cause them to lose their function. Separately and actively discussed is the role of other plasma products – ozone and peroxynitrite – in bactericidal activity, that is, in direct destruction of microbes, which makes it a promising antiseptic. Thus, the interest in cold plasma applications in medicine and the need to develop effective and safe clinical protocols require deciphering key mechanisms of plasma influence on cells and tissue.

In this article, the author shows that a key role in the mechanism of inactivation is played by active forms of oxygen and nitrogen (in particular, atomic oxygen), generated by plasma and causing irreversible damage to cellular structures. The results confirm the prospects of using developed plasma sources to create effective and safe disinfection systems.

Basic Concepts. A system of atmospheric discharge plasma generation was used to clean the surface of the substrates. A schematic of the atmospheric plasma generation system is shown in Figure 1.



1 – power supply; 2 – control and power unit WP-12; 3 – gas flow regulator; 4 – gas cylinder (Ar); 5 – discharge system

Figure 1 – Diagram of an experimental coaxial type discharge system with dielectric barrier spread

Basic characteristics of the plasma generation system:
– type of discharge – dielectric barrier;
– Discharge power >40 W
– Working gas flow rate 70-350 l/min
– Gas type – Ar

Among the many ways of creating a diffused dielectric barrier discharge, the simplest technical implementation is the coaxial configuration of the discharge system. When the gas passes through a tube in the area between the electrodes, atmospheric discharge is formed.

Two types of discharge systems were used to generate dielectric barrier plasma (DRB) at atmospheric pressure:

– coaxial discharge system;
– a planar discharge system.

The coaxial discharge system is a dielectric tube with metal electrodes inside and outside it (Figure 2). The quartz tube has an external diameter of 8 mm. The internal electrode is a hollow metal rod with a diameter of 1 mm. The outer electrode consists of a copper foil closely attached to a quartz tube, 10 mm wide.

The gas is continuously pumped through the discharge system, thereby removing heat from the discharge zone, excited particles and products of various plasma chemical reactions that typically impair the stability and performance of the discharge.

This discharge system provides a temperature in the processing area below 40 °C, as well as high stability by inhibiting streamer through a dielectric barrier between electrodes.

The planar discharge system is designed for handling large areas and consists of two flat electrodes, one of which is covered by a dielectric barrier.

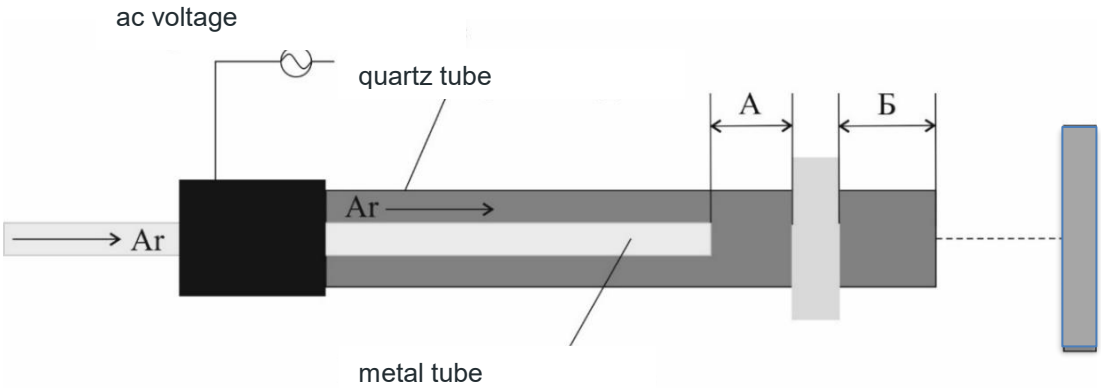


Figure 2 – Diagram of an experimental coaxial type discharge system with dielectric barrier spread

***Growth of culture*.** Two species of bacteria of the genus Staphylococcus have been used as test cultures:

– Staphylococcus aureus is a gram-positive cockle with a wide range of pathogenicity and clinical significance.

– Staphylococcus saprophyticus - a causative agent of extracorporeal infections, also used as a model object.

Cultures are provided by the microbiology laboratory of the biological faculty of BSU.

The planting of microorganisms was carried out in a continuous layer on the surface of the dense nutrient medium in petri dishes using a bacteriological loop in the area of the burner flame. The flame heats the surrounding air, causing a local upward flow of air from the working surface, which reduces the likelihood of aerosols, dust and unwanted microorganisms that do not participate in the experiment. Continuous planting is a method of cultivating microorganisms in a solid nutrient medium, where the surface of the agar-agar is evenly covered by a microbial suspension to produce uniform monotone growth throughout the entire area of the petri dish.

The cultivation of staphylococcus requires a specially prepared nutritional environment, which is associated with control of growth conditions, reproducibility of results, safety and diagnostic informational. For the preparation of a nutritious medium, chicken fillet and agar-agar are needed as a source of proteins and amino acids, while agar-agar serves as a solid gel-forming component. The chicken fillet needs to be cooked, and the resulting broth needs to be filtered. In the hot solution, the agar-agar is dissolved so that when cooled it will freeze and form a floorboard surface suitable for growing colonies. The mixture is sterilized in alcohol flames to exclude foreign microorganisms, then the solution is distributed over sterile petri dishes where it is fixed and ready for stapling of the staph. Cultivated Staphylococcus aureus and Staphylococcus saprophyticus are shown in figures 3 and 4.

Petri cups with a seeded surface were treated with a plasma torch at a distance of 10–15 mm from the slit of the discharge system nozzle to the surface of the medium. The processing time (from 1 to 15 minutes) and discharge power (40 and 60 W) varied. The plasma gas flow rate (argon) was 130–180 L/h.

After processing, petri dishes were placed in a thermostat for incubation at the optimal temperature. The effectiveness of disinfection was assessed by a visual method that took into account the number of colonizing units grown on the surface of the nutrient medium. The degree of inhibition was defined as the percentage ratio of the number of colonies that grew in treated and control (untreated) cups.

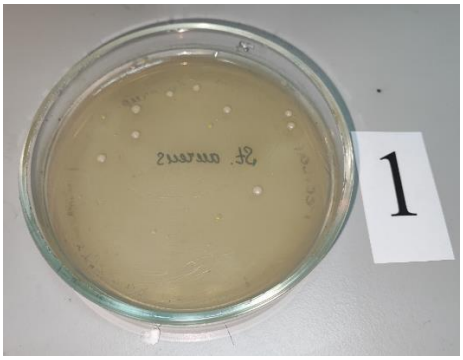


Figure 3 – Cultivated Staphylococcus aureus

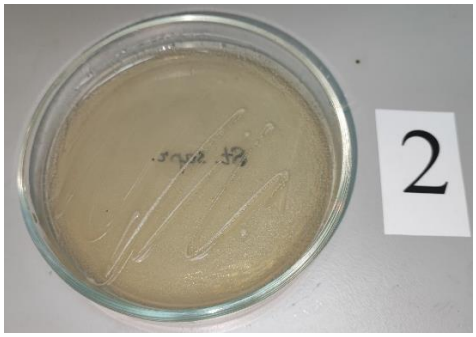


Figure 4 – Cultivated Staphylococcus saprophyticus

Results. Experiments on the disinfection of a staphylococcus-populated surface of a nutrient medium have demonstrated the high efficiency of the plasma sources developed. The static analysis did not reveal significant differences in plasma sensitivity between gold and saprophyte staphylococcus, allowing the data for both species to be considered together.

Figure 5 shows the dependency of the bacterial inhibition percentage on the processing time for coaxial system. It can be seen that the process of inactivation has a pronounced time dependency. At 40 W and 15 mm, full inhibition (100% bacterial death) was achieved after 10 minutes of processing. The increase of capacity to 60 W allowed a reduction in the time for full disinfection to 10 minutes, with inhibition of more than 90% of colonies observed after 5 minutes of treatment.

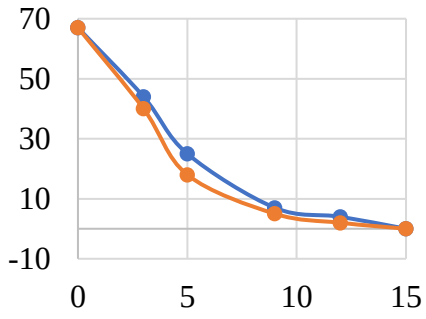


Figure 5 – Percentage of inhibition per surface treatment time

Conclusion. During the work, it was determined that for a coaxial discharge system with a gas flow rate of 180 l/h, a capacity of 40 W and a distance of 15 mm, full inactivation of the staphylococcus could be achieved in 10 minutes. For the surface discharge, a similar effect was observed at 50 W, 10 mm distance and 15 minutes processing time.

Thus, the numerical results confirm the energy efficiency and high antimicrobial activity of the dielectric discharge barrier plasma: optimal modes allow to form a stable flame up to 24 mm long, reduce energy consumption by 50%, and ensure complete disinfection of bacterial cultures in 10–15 minutes.

References

1. *Fridman, G. Applied Plasma Medicine / G. Fridman [et al.] // Plasma Processes and Polymers/ – 2008. – Vol. 5, № 6.*

2. *Laroussi, M. Low Temperature Plasma in Medicine / M. Laroussi. – Cambridge : Cambridge University Press, 2018. – 300 p.*

3. *Lukes P., Dolezalova E., Sisrova I., Clupek M. Aqueous-phase chemistry and bactericidal effects from an air discharge plasma in contact with water: evidence for the formation of peroxynitrite through a pseudo-second-order post-discharge reaction of H2O2and HNO2 // Plasma Sources Science and Technology. – 2014. – Vol. 23, № 1. – P. 015019. – https://doi.org/10.1088/0963-0252/23/1/015019.*

УДК 537.525, 579.24

ВЛИЯНИЕ ХОЛОДНОЙ ПЛАЗМЫ НА ИНГИБИРОВАНИЕ БАКТЕРИЙ РОДА СТАФИЛОКОКК

Провлоцкая Д.В., Панфиленко Е.Д.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научные руководители: Клокова А. Г. – к.ф.н., доцент, заведующая кафедры иностранных языков Котов Д.А. – к. т. н, доцент каф. МНЭ

Аннотация. Экспериментально исследовано влияние холодной плазмы диэлектрического барьерного разряда на ингибирование бактерий рода стафилококк. Установлено, что при очистке в факеле коаксиальной разрядной системы с расходом газа 180 л/ч, мощностью 40 Вт и расстоянием 15 мм полная инактивация стафилококка достигалась за 10 минут. Для поверхностного разряда аналогичный эффект наблюдался при мощности 50 Вт, расстоянии 10 мм и времени обработки 15 минут.

Ключевые слова: атмосферная плазма, коаксиальная разрядная система, поверхностный разряд, стафилококк, ингибирование

УДК 53.087.4

GSM-КОНТРОЛЛЕР ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫМ ТЕПЛОВЫМ ПУНКТОМ

Бурлыко А.И.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г.Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Кудина А.В – к.т.н., доцент, доцент кафедры ЭТТ

Аннотация. GSM-контроллер является важным элементом системы автоматизации индивидуального теплового пункта. Он обеспечивает дистанционный контроль, оперативное управление и своевременное информирование о состоянии оборудования. Использование подобных устройств позволяет существенно повысить надежность теплоснабжения, сократить эксплуатационные расходы и обеспечить рациональное использование тепловой энергии.

Ключевые слова. GSM-контроллер, индивидуальный тепловой пункт, SCADA-система

Введение. GSM-контроллер представляет собой микропроцессорное устройство, предназначенное для дистанционного контроля и управления технологическим оборудованием посредством сетей сотовой связи. В составе системы автоматизации индивидуального теплового пункта (ИТП) он выполняет функции сбора, обработки, хранения и передачи информации о состоянии оборудования и параметрах теплоносителя. Применение таких устройств соответствует современным требованиям к цифровизации инженерных систем зданий и развитию концепции «умного здания» [1].

Основная часть. Основными функциями GSM-контроллера являются:

– измерение и регистрация технологических режимов (температура теплоносителя в контурах отопления и горячего водоснабжения, температура наружного воздуха, давление в системе отопления);

– сигнализация по падению давления в системах отопления и горячего водоснабжения;

– сигнализация по падению температуры в системах отопления и горячего водоснабжения;

– сигнализация аварийной остановки насосов;

– пожарная сигнализация и охранная сигнализация;

– вывод информации на встроенный LCD-дисплей;

– ввод настроек с клавиатуры;

– обмен SMS-сообщениями (отправка информационных сообщений, обработка и выполнение команд принимаемых SMS);

– удаленное включение/отключение насосов, запорно-регулирующей арматуры с электрическими сервоприводами;

– связь с приборами учета природного газа, тепловой и электрической энергии по интерфейсу RS-485 (протокол Modbus RTU);

– возможность опроса по GPRS с передачей данных на диспетчерский сервер.

Дополнительно современные GSM-контроллеры поддерживают подключение к облачным платформам мониторинга, где обеспечивается хранение архивов данных, построение графиков, формирование отчетов и интеграция с SCADA-системами [2]. Это позволяет организовать централизованное управление группой тепловых пунктов и реализовать автоматическую диспетчеризацию.

При срабатывании сигнализации осуществляется отправка SMS на установленный номер. По командам из SMS устройство должно отправлять информацию о текущих температурах и давлении в системе отопления и водоснабжения. В более современных

конфигурациях используется не только SMS, но и передача данных по протоколам TCP/IP через мобильную сеть, что повышает скорость обмена и надежность доставки информации [3].

Использование GSM-технологий позволяет обеспечить удаленный доступ к системе управления без необходимости постоянного присутствия обслуживающего персонала на объекте. Это особенно актуально для распределенных объектов теплоснабжения, расположенных в различных районах города или региона.

Индивидуальный тепловой пункт представляет собой комплекс технических средств, предназначенных для приема тепловой энергии от централизованной тепловой сети, преобразования параметров теплоносителя и распределения тепла между потребителями внутри здания. В соответствии с нормативными требованиями ИТП должен обеспечивать автоматическое регулирование параметров теплоносителя в зависимости от температуры наружного воздуха и графика теплоснабжения [4].

Основные функции ИТП включают:

– регулирование температуры теплоносителя в системе отопления;

– обеспечение горячего водоснабжения;

– поддержание заданного давления;

– защиту оборудования от аварийных режимов работы;

– учет потребления тепловой энергии.

В состав ИТП входят теплообменники (пластинчатые или кожухотрубные), циркуляционные насосы, регулирующие клапаны с электроприводами, датчики температуры и давления, приборы учета тепловой энергии, а также шкаф автоматизации. Все элементы объединяются в единую автоматизированную систему управления, соответствующую требованиям по надежности и безопасности эксплуатации [5].

Работа системы осуществляется следующим образом. Датчики, установленные на трубопроводах и оборудовании, непрерывно измеряют параметры теплоносителя. Полученные сигналы поступают на входы контроллера, где преобразуются аналого-цифровыми преобразователями и анализируются в соответствии с заданным температурным графиком.

При отклонении параметров от установленных значений контроллер автоматически формирует управляющие сигналы на исполнительные механизмы – насосы и регулирующие клапаны. Таким образом обеспечивается поддержание требуемого температурного режима в здании при минимальном расходе тепловой энергии.

В случае возникновения аварийной ситуации (например, превышения давления, отказа насоса, обрыва датчика) контроллер немедленно отправляет уведомление ответственному лицу посредством SMS-сообщения или передачи данных через мобильную сеть. Оператор может дистанционно изменить параметры работы системы, выполнить перезапуск оборудования или временно отключить отдельные узлы.

Внедрение GSM-контроллера в систему управления ИТП обеспечивает ряд существенных преимуществ:

1 Снижение эксплуатационных расходов – уменьшается необходимость регулярных выездов обслуживающего персонала.

2 Повышение оперативности реагирования – аварийные уведомления поступают в режиме реального времени.

3 Экономия тепловой энергии –точное регулирование температуры позволяет сократить потребление на 10–20 % за счет погодозависимого регулирования [4].

4 Повышение надежности системы – постоянный мониторинг снижает риск серьезных аварий.

5 Ведение архива данных – позволяет анализировать эффективность работы оборудования и оптимизировать режимы эксплуатации.

С экономической точки зрения внедрение системы диспетчеризации ИТП позволяет сократить эксплуатационные расходы на обслуживание, снизить потери тепловой энергии и

увеличить срок службы оборудования. Окупаемость подобных решений в среднем составляет от 1 до 3 лет в зависимости от масштаба объекта и тарифов на энергоресурсы [2].

Устройство по функциональным возможностям не уступает более дорогостоящим системам на базе программируемого логического контроллера (ПЛК) и значительно проще в эксплуатации. Алгоритм работы устройства способен обеспечивать гибкое управление оборудованием, что предусматривает возможность изменения конфигурации и настроек в процессе эксплуатации с помощью клавиатуры прибора, без разработки специальной программы как для ПЛК.

Современные тенденции развития автоматизации предполагают интеграцию GSM-контроллеров с облачными платформами мониторинга и диспетчеризации. Развитие технологий интернета вещей (IoT) позволяет объединять несколько ИТП в единую систему управления, обеспечивая централизованный сбор и анализ данных [3]. Применение методов машинного обучения и прогнозной аналитики дает возможность выявлять предаварийные состояния оборудования на ранней стадии и планировать профилактическое обслуживание.

В дальнейшем ожидается внедрение более совершенных стандартов связи (LTE-M, NB-IoT), расширение возможностей аналитики и применение методов прогнозирования аварийных ситуаций на основе накопленных данных. Это будет способствовать дальнейшему повышению энергоэффективности зданий и снижению затрат на теплоснабжение.

Заключение. Таким образом, применение GSM-контроллера в системе автоматизации индивидуального теплового пункта является эффективным техническим решением, обеспечивающим надежное управление, энергосбережение и повышение качества теплоснабжения потребителей.

Список литературы:

1. *Automation of buildings and structures : textbook / Edited by V. A. Bobkov. – Moscow : MGSU Publishing House, 2019. – p. 256.*

2. *Dispatching of building engineering systems / Edited by A. N. Smirnov. – Moscow : AVOK-PRESS, 2020. – p. 312.*

3. *Tanenbaum, A. Computer networks / A. Tanenbaum, D. Wetherall ; translated from English. – 5th ed. – Saint Petersburg : Piter, 2016. – p.960.*

4. *SP 60.13330.2020. Heating, ventilation and air conditioning : approved by the Order of the Ministry of Construction of the Russian Federation ; введ. 2020-12-30. – Moscow : Ministry of Construction of Russia, 2020. – p. 120.*

5. *Rules for technical operation of thermal power installations : approved by the Order of the Ministry of Energy of the Russian Federation dated 24.03.2003 No. 115. – Moscow : Energoservis, 2018. – p. 176.*

UDC 53.087.4

GSM-CONTROLLER FOR MANAGING AN INDIVIDUAL HEATING STATION

Burlyko A.I.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics
Minsk, Republic of Belarus

Kydina A., – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of EET

Annotation. A GSM controller is an essential element of an individual heating substation's automation system. It provides remote monitoring, operational control, and timely notification of equipment status. The use of such devices significantly improves heat supply reliability, reduces operating costs, and ensures efficient use of thermal energy.

Keywords. GSM-controller, individual heating station, SCADA-system

УДК 681.536.55

ТЕРМОРЕГУЛЯТОР ПРОГРАММИРУЕМЫЙ С ЖК-ДИСПЛЕЕМ

Селивоненко Ю.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Кудина А.В. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ЭТТ, доцент кафедры ИИС

Аннотация. Существует большое количество устройств контроля температуры, однако они обладают рядом ограничений в части возможностей их эксплуатации в условиях с механическим, вибрационным, коррозионным воздействием, в частности на транспорте, ограниченными параметрами настройки, функциональными возможностями. Разрабатываемое устройство предполагает отсутствие вышеназванных недостатков.

Ключевые слова: терморегулятор, транспорт, механическое воздействие, вибрация, коррозия, функциональный

Введение. Устройства для контроля и управления источниками тепла, в частности электрическими источниками тепла, являются обязательным условием создания необходимого микроклимата в помещении, как неотъемлемого условия здорового и комфортного пребывания человека, как неотъемлемого условия сохранности многих предметов и продуктов при складировании и транспортировке.

Необходимость в контроле, управлении заданной температуры на производстве, в быту, на транспорте (в том числе железнодорожном), соответственно, с вероятными механическими, вибрационными, коррозионным воздействием, необходимость узкой настройки параметров, удаленного доступа, программной настройки, расширенных средств диагностики, определили необходимую компонентную базу устройства, исполнение платы, исполнение корпуса и устройства в целом, определили наличие средств контроля, индикации, управления, наличие средств подключения. Реализация устройства предполагает применение утвержденной методики расчетов [1], использование систем автоматизированного проектирования для разработки печатной платы (Altium Designer)[2], 3D-моделирования изделия (SolidWorks)[3], оформления конструкторской документации (AutoCAD)[4], проведение экономического обоснования.

Основная часть. В результате разработки будет реализован терморегулятор программируемый с ЖК-дисплеем для поддержания и контроля заданной температуры по двум линиям на 1500 Вт и 2000 Вт на базе производительного микроконтроллера [5], с Ethernet-модулем для проводного доступа к сети Интернет и локальной сети, с модулем Wi-fi для беспроводного доступа к сети Интернет и локальной сети, с внешними датчиками для контроля температуры в помещении, с внутренними датчиками для контроля температуры силовых блоков устройства, со встроенным вентилятором, с органами управления для регулировки параметров устройства мануально, с ЖК-дисплеем для отображения параметров, со средствами индикации. Для снижения механического, вибрационного, коррозионного воздействия на устройство используется коррозионностойкий, прочный, легкий, с отличными теплоотводящими свойствами корпус из алюминия с перфорацией, плата крепится на латунные стойки, что в дополнение к антивибрационным свойствам обеспечивает пространство под платой для циркуляции воздуха, плата демпфируется и защищается посредством многослойного покрытия лаком. На рисунке 1 представим структурную схему устройства без учета линий питания.

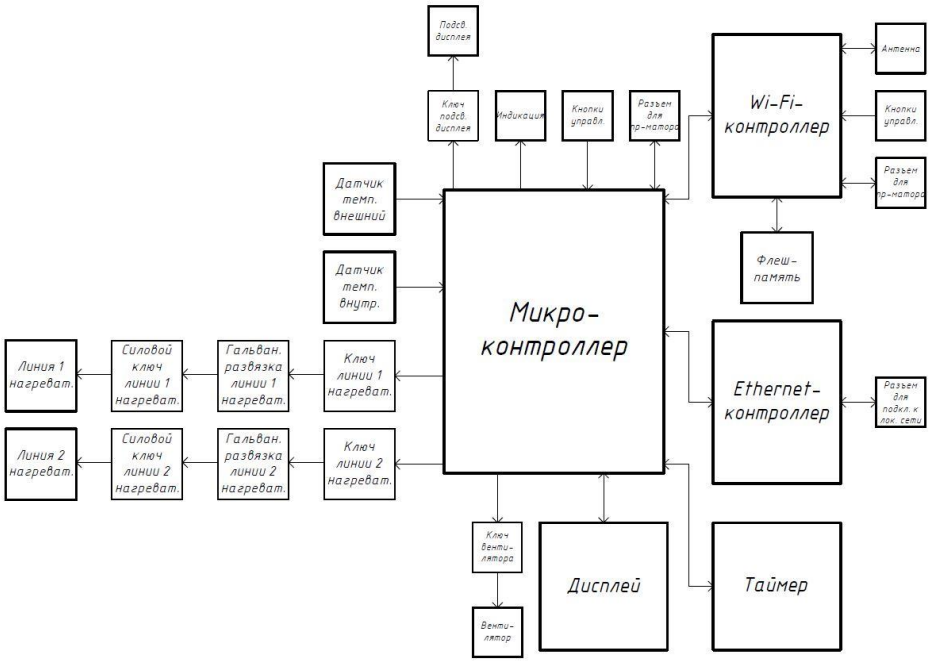


Рисунок 1 – Структурная схема устройства

Заключение. Исполнение устройства (плата, конструкция, корпус), позволяющее использовать его в условиях с повышенным механическим, вибрационным, коррозионным воздействием, универсальность (эксплуатация в производстве, на транспорте, в быту), достаточная мощность (обогрев помещений общей площадью порядка 40 м2), широкая настройка (возможность задания недельного графика с дискретностью в один час в устанавливаемых пределах), удаленный доступ к устройству, возможность подключения к микроконтроллеру для перепрошивки через внешний разъем, анализ температуры в помещении и контроль температуры внутри корпуса устройства, активное охлаждение делает его отличным от многих аналогов, представленных сегодня на рынке.

Список литературы

1. *Достанко, А. П. Проектирование и производство РЭС. Дипломное проектирование : учеб. пособие /А. П. Достанко, В. М. Бондарик, С. В. Бордусов [и др.]; под общ. ред. А. П. Достанко. – Мн. : БГУИР, 2006. – 220 с.: ил.*

2. *Altium [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.altium.com. – Дата доступа: 12.02.2026.*

3. *SOLIDWORKS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.solidworks.com. – Дата доступа: 12.02.2026.*

4. *Autodesk [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.autodesk.com. – Дата доступа: 14.02.2026.*

5. *АС ЕНЕРГІЯ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://asenergi.com/catalog/microchip/controller/atmega32-16au-tqfp44.html. – Дата доступа: 15.02.2026.*

UDC 681.536.55

PROGRAMMABLE THERMOSTAT WITH LCD DISPLAY

Selivonenka Y.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Kudina A.V. – Cand. Of Csi., Associate Professor, Associate Professor of the Department of EEaT, Associate Professor of the Department of IaMS

Annotation. A large number of monitoring devices exist, but they have several limitations in terms of their ability to operate in conditions subject to mechanical, vibration, and corrosive influences, particularly in transport. They also have limited configuration parameters, functionality. The device being developed eliminates these shortcomings.

Keywords: thermostat, transport, mechanical impact, vibration, corrosion, functional

УДК 621.382.002.3:533.9

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ПЛАЗМЫ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ФОТОРЕЗИСТА С ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛАСТИН

Коваленко И.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Мадвейко С.И. – к.т.н., доцент, заведующий кафедры ЭТТ

Аннотация. Проведен анализ особенностей применения сверхвысокочастотной (СВЧ) плазмы для удаления фоторезиста с полупроводниковых пластин в сравнении с традиционной высокочастотной (ВЧ) плазмой. Показано, что использование СВЧ-плазмы в downstream-режиме может обеспечивать степень диссоциации кислорода до 90%, что позволяет достичь скорости удаления фоторезиста 10–15 мкм/мин.

Ключевые слова: СВЧ-плазма, donstream-режим, радикальное травление, удаление фоторезиста.

Введение. Современная микро- и наноэлектроника базируется на процессе фотолитографии, который позволяет формировать топологию интегральных схем (ИС) с элементами размером в несколько нанометров. Ключевое требование к производству – высокая чистота поверхностей на каждом этапе. В этом контексте плазменные технологии обеспечивают подготовку поверхности (очистку, активацию) и заключительное удаление временных масок (фоторезиста).

Традиционно в промышленности используется высокочастотная (ВЧ) плазма (13.56 МГц). Однако с ростом требований к скорости обработки, (минимизация радиационных дефектов и повышение селективности процессов) все большее внимание привлекает сверхвысокочастотная (СВЧ) плазма (2.45 ГГц). В данной статье проводится анализ особенностей применения СВЧ плазмохимического удаления фоторезиста в сравнении с классическими ВЧ методами

Основная часть. Плазменная очистка подложек используется для удаления адсорбированных паров воды и органических загрязнений. Это важно для повышения адгезии наносимого фоторезистивного слоя к поверхности материала (кремния, диоксида кремния или металлов) [1]. Здесь сравнение ВЧ и СВЧ плазмы показывает интересные различия. Обработка в ВЧ-плазме эффективно удаляет загрязнения за счет ионной бомбардировки, но может создавать дефекты в приповерхностном слое. Обработка в СВЧ-плазме, благодаря высокой плотности радикалов и низкой энергии ионов, позволяет проводить «мягкую» химическую очистку и модифицировать поверхностную энергию, делая ее гидрофильной без повреждения кристаллической решетки, что особенно важно для структур с ультратонкими диэлектриками.

Завершающая операция цикла литографии – удаление фоторезиста. После этапа травления защитная маска из фоторезиста должна быть полностью удалена без повреждения нижележащих слоев. Качество этой операции напрямую определяет успех последующих процессов.

Для реализации вакуумно-плазменных процессов используются различные типы разрядов, каждый из которых имеет свою область применения [1].

Высокочастотный (ВЧ) разряд (13.56 МГц) является индустриальным стандартом. Его основное достоинство – способность создавать плазму как в проводящих, так и в диэлектрических средах благодаря емкостному или индуктивному способу ввода энергии. Однако из-за наличия высокого потенциала само-смещения на электродах происходит ионная бомбардировка.

Сверхвысокочастотный (СВЧ) разряд (2.45 ГГц) при прочих равных условиях плотность ионизации выше, а также ниже и энергия ионов, что не приводит к ионной бомбардировке [1].

Взаимодействие плазмы с материалом можно разделить на несколько режимов.

Плазменное травление (ПТ) и радикальное травление (РТ) – процессы, протекающие по чисто химическому механизму. В их основе лежат гетерогенные реакции между нейтральными активными частицами (радикалами) и атомами обрабатываемого материала. Для удаления фоторезиста (органического полимера) используется атомарный кислород O, который окисляет пленку, превращая её в летучие продукты реакции (CO, CO_2, H_2O) [1].

С уменьшением размеров элементов ИС чувствительные материалы, такие как low-k диэлектрики или ультратонкие слои металлов, становятся крайне уязвимы для воздействия заряженных частиц. Ионная бомбардировка и жёсткое ультрафиолетовое излучение из плазмы могут вызывать перезарядку и пробой тонких диэлектриков, увеличение шероховатости поверхности, имплантацию ионов в подложку, деградацию материала low-k (увеличение его диэлектрической проницаемости).

Поэтому главная перспектива развития плазменной очистки – вынос обрабатываемой пластины из зоны активного разряда. Это и есть радикальное (downstream) травление: пластина находится в зоне, отделённой от плазмы, и подвергается воздействию только нейтральных химически активных частиц (радикалов). Это позволяет полностью исключить повреждение структуры заряженными частицами и излучением.

Анализ патентной литературы [2] показывает несколько основных способов реализации «downstream» или «remote» плазмы:

Перфорированный экран: между зоной генерации плазмы и камерой обработки устанавливается металлическая стенка с множеством отверстий. Если размер отверстий меньше дебаевского радиуса экранирования (толщины слоя пространственного заряда у стенки), плазма не проникает через них. Ионы и электроны, сталкиваясь со стенками экрана, рекомбинируют. Нейтральные же радикалы свободно проходят через отверстия и диффундируют к пластине.

Удалённое расположение (Downstream): плазма генерируется в трубе или камере, удалённой от пластины на расстояние, значительно превышающее длину свободного пробега иона. Пока частицы движутся по трубе к пластине, ионы успевают рекомбинироваться на стенках, в то время как радикалы с большим временем жизни достигают подложки [1].

Все эти методы успешно работают как с ВЧ, так и с СВЧ разрядами. Но эффективность генерации радикалов и скорость, и качество удаления фоторезиста напрямую зависят от типа используемого источника. Именно здесь преимущества СВЧ-плазмы раскрываются наиболее полно.

Основной параметр, определяющий скорость удаления фоторезиста - концентрация атомарного кислорода. Эффективность образования радикалов зависит от плотности мощности, вкладываемой в газ. СВЧ-разряд при давлении 10-300 Па обеспечивает исключительно высокую степень диссоциации молекул кислорода от 50 до 90%, что значительно выше, чем в стандартном ВЧ-разряде (обычно 5-20%) [3]. Это достигается благодаря эффективному ускорению электронов в СВЧ-поле [1]. Высокая концентрация атомарного кислорода позволяет достигать скоростей удаления фоторезиста до 10-15 мкм/мин и выше, что критически важно для производительности линий.

Низкая энергия ионов в первичной СВЧ-плазме, а в режиме РТ – их полное отсутствие в зоне обработки, делает процесс «химически мягким». Это исключает ионную бомбардировку нижележащих слоев образца. Таким образом, достигается бесконечная селективность по отношению к материалу подложки, что принципиально невозможно в процессах, где пластина контактирует с плазмой (РИПТ, ПТ).

Заключение. Анализ особенностей плазмохимического удаления фоторезиста показывает, что применение СВЧ-плазмы, организованной по схеме радикального травления (downstream), является наиболее перспективным методом для современного производства ИС. По сравнению с традиционной ВЧ-плазмой, СВЧ-метод обеспечивает более высокую скорость

процесса за счет большей плотности атомарного кислорода, абсолютную селективность к подложке благодаря отсутствию ионной бомбардировки, минимальное радиационное повреждение чувствительных структур.

Список литературы

1. *Данилин Б.С., Киреев В.Ю. »Применение низкотемпературной плазмы для травления и очистки материалов». М.: Энергоатомиздат, 1987.*

2. *Патент US 6,395,150 B1, «Plasma processing system for processing semiconductor wafers in a downstream radical dissociation process», 2002.*

3. *Lieberman M.A., Lichtenberg A.J. »Principles of Plasma Discharges and Materials Processing». 2nd Edition. Wiley-Interscience, 2005.*

UDC 621.382.002.3:533.9

ANALYSIS OF THE FEATURES OF USING MICROWAVE PLASMA TO REMOVE PHOTORESIST FROM SEMICONDUCTOR WAFERS

Kovalenko I.A

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Madveika S.I. – Cand. of Sci., associate professor, head of department electronic technique and technology

Annotation. An analysis of the specific features of using microwave plasma to remove photoresist from semiconductor wafers was conducted, compared to traditional radio-frequency (RF) plasma. It was shown that using microwave plasma in downstream mode can achieve oxygen dissociation rates of up to 90%, enabling photoresist removal rates of 10–15 μm/min.

Keywords: microwave plasma, donstream mode, radical etching, photoresist removal.

УДК 537.322.15

ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ И ЕГО ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ОБЛАСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ

Тарногурская А.Д., Борисюк А.О.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Редьков В.М. – д.т.н., профессор, профессор кафедры физики

Аннотация. Экспериментально исследован принцип действия термоэлектрического преобразователя на основе модуля Пельтье TEC1-12706. В ходе работы измерялись температурные зависимости на горячей и холодной сторонах элемента при различных значениях напряжения питания. Установлено, что максимальное охлаждение «холодной» стороны (до 19,4°C) достигается при напряжении 2 В, тогда как дальнейшее увеличение напряжения приводит к ее нагреву из-за преобладания Джоулева тепла над эффектом Пельтье. Показано снижение эффективности элемента с ростом потребляемой мощности, при этом отмечена необходимость организации эффективного отвода тепла от горячей стороны для улучшения характеристик. Изготовлена действующая модель холодильной машины на основе элемента Пельтье и рассмотрены основные области практического применения данного эффекта. Полученные результаты могут быть полезны при проектировании компактных охлаждающих устройств и систем термостатирования.

Ключевые слова: термоэлектрический модуль, термоэлектрический преобразователь, элемент Пельтье, термоэлектрическое охлаждение, эффект Пельтье, коэффициент полезного действия, температурный градиент.

Введение. Термоэлектрические преобразователи представляют собой устройства, которые используют термоэлектрические эффекты для преобразования тепловой энергии в электрическую и наоборот. Преобразователи такого рода широко распространены благодаря своей относительно простой конструкции, надежности в работе и способности функционировать при различных температурах. Интерес к ним во многом связан с отсутствием движущихся частей и возможностью как прямого охлаждения, так и генерации электроэнергии. В последние годы потребность в термоэлектрических устройствах возрастает в связи с развитием компактной электроники и необходимостью локального охлаждения нагревающихся элементов без использования громоздких компрессоров.

Цель исследования: изучение принципа действия термоэлектрического преобразователя, его ключевых характеристик и возможностей применения для охлаждения или генерации энергии.

Объект исследования: разность температур, возникающая в термоэлектрическом преобразователе при пропускании через него электрического тока.

Предмет исследования: температура холодной и горячей поверхностей термоэлемента в зависимости от условий эксплуатации.

Гипотеза исследования: для создания систем охлаждения можно использовать перепад температур, возникающий при пропускании электрического тока через соединение двух разных материалов.

Основная часть. Для изучения принципа действия термоэлектрического преобразователя мы выбрали модуль элементов Пельтье TEC1-12706. Для изучения его основных параметров, модуль элементов Пельтье был расположен с помощью проводов таким образом, чтобы с обеих его сторон можно было измерять температуру. Напряжение в данной цепи менялось с помощью регулируемого источника питания. Для более точного измерения

силы тока использовался мультиметр. В ходе эксперимента постоянное напряжение на элементе повышалось с шагом 0,5 В, и после каждого повышения измерялась сила тока и температура, которые установились на «горячей» $T_г$ и «холодной» $T_х$ частях элемента Пельтье.

Эксперимент показал, что температура «холодной» части элемента Пельтье уменьшалась до тех пор, пока напряжение не составило 2 В. В этот момент температура «холодной» части была равна 19,4°С, температура в помещении при этом была 22°С. При дальнейшем повышении напряжения начал происходить нагрев «холодной» части элемента Пельтье. Это объясняется тем, что при отсутствии механизмов для охлаждения элемента, выделение Джоулева тепла уже при небольших значениях протекающего тока начинает преобладать над эффектом Пельтье. Но, невзирая на это, разница температур между «горячей» и «холодной» сторонами элемента остается все еще достаточно заметной.

Также была рассчитана потребляемая элементом мощность. Было установлено снижение эффективности элемента Пельтье с ростом потребляемой мощности. Это объясняется тем, что величина выделяемого Джоулева тепла равна электрической мощности, потребляемой термоэлектрическим элементом. По этой причине эффективность элемента Пельтье с ростом напряжения значительно падает, и для максимального рабочего значения напряжения оказывается относительно небольшой. Эффективность элемента Пельтье можно повышать, обеспечивая отвод тепла от «горячей» части элемента.

Была изготовлена модель холодильной машины. Для нахождения её холодильного коэффициента мы определяли минимальную температуру, до которой может быть охлажден стакан с жидкостью, помещённый в холодильную машину. В режиме равновесия количество тепла, отводимого от стакана с водой, равно количеству тепла, получаемому стаканом от окружающей среды. Данная величина прямо пропорциональна разности температур стакана и окружающей среды.

Для определения мощности потока тепла, передаваемого стакану при фиксированной разности температур, использовали коэффициент теплопотерь

$$\eta = \frac{P_{\text{потерь}}}{IU} = 0{,}074.$$

Для оценки точности измерений все эксперименты проводились при стабильной температуре окружающей среды (22°С), а показания мультиметра и термометров фиксировались после выхода системы в стационарный режим, когда изменения температуры не превышали 0,1°С в минуту.

Заключение. Таким образом, в ходе выполнения работы был проведен сравнительный анализ зависимости нагрева «холодной» и «горячей» частей элемента Пельтье от приложенного напряжения; измерена вольтамперная характеристика элемента для зависимости разницы температур на поверхностях от потребляемой электрической мощности. В результате показано, что эффективность элемента Пельтье существенно падает с ростом напряжения.

Полученные данные могут быть полезны при выборе рабочего режима элемента Пельтье в реальных устройствах, где важно найти баланс между глубиной охлаждения и энергопотреблением. Можно отметить, что эффект Пельтье находит достаточно широкое практическое применение. Например, он используется для охлаждения микросхем и высокопроизводительных процессоров, где нужен локальный отвод тепла. В медицине такие элементы применяются в устройствах, требующих точного термостатирования. Благодаря компактности и отсутствию движущихся частей, модули Пельтье также используются в автомобильных холодильниках и некоторых моделях кондиционеров.

Список литературы

1. *Л. А. Исаченкова, А. А. Сокольский Физика: учеб. пособие для 10-го кл. учреждений общ. сред. образования с рус. яз. обучения / Л. А. Исаченкова, А. А. Сокольский. – 1-е изд., пересмотр. и доп. – Минск: Народная асвета, 2019. – 287 с.*
2. *Савельев, И. В. Курс общей физики в 3-х т. Т. 2 / И. В. Савельев. – М.: Наука, 1989.*
3. *Кингсеп, А.С. Основы физики. Курс общей физики: Учебн. в 2 т. Т 1. Механика, электричество и магнетизм, колебания и волны, волновая оптика / А.С. Кингсеп, Г.Р. Локшин, О.А. Ольхов; под ред. А.С. Кингсепа. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 560 с.*
4. *Булат Л. П., Ведерников М. В., Вялов А. П. и др. Термоэлектрическое охлаждение. Текст лекций под общей ред. Л. П. Булата. СПб.: СПбГУНиПТ, 2002.*
5. *Иоффе А. Ф., Стильбанс Л. С., Йорданишвили Е. К., Ставицкая Т. С. Термоэлектрическое охлаждение. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1956.*
6. *Википедия. Свободная энциклопедия. [Электронный ресурс] Режим доступа: https://ru.wikipedia.org – Дата доступа 06.03.2026*

UDC 537.322.15

STUDY OF THE OPERATION OF A THERMOELECTRIC CONVERTER AND ITS POTENTIAL APPLICATIONS

Tarnogurskaya A.D., Borisyuk A.O.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Redkov V.M. – Dr. of Sci. (Tech.), Professor, Professor at the Department of Physics

Annotation. The operating principle of a thermoelectric converter based on a TEC1-12706 Peltier module was experimentally studied. Temperature dependences on the hot and cold sides of the element were measured at various supply voltages. It was found that maximum cooling of the «cold» side (up to 19.4°C) is achieved at a voltage of 2 V, while a further increase in voltage leads to its heating due to the predominance of Joule heating over the Peltier effect. A decrease in the element's efficiency with increasing power consumption is demonstrated, while the need for efficient heat removal from the hot side to improve performance is noted. A working model of a refrigeration machine based on a Peltier element is constructed, and the main areas of practical application of this effect are discussed. The obtained results can be useful in the design of compact cooling devices and thermostatic control systems.

Keywords: thermoelectric module, thermoelectric converter, Peltier element, thermoelectric cooling, Peltier effect, efficiency, temperature gradient.

УДК 621.3.049.77–048.24:537.2

СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ КРИСТАЛЛОВ

Навумчик П.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Собчук Н.С. – ст. преподаватель кафедры ЭТТ

Аннотация. Поскольку сцинтилляционные кристаллы в средствах радиометрии и дозиметрии являются как никогда актуальными, предлагается вариант стенда для исследования сцинтилляционных кристаллов, с подключением к персональному компьютеру по USB-C, регулировкой параметров стенда и снятия сигнала внешним аналого-цифровым преобразователем.

Ключевые слова: сцинтиллятор, SiPM, фотоумножитель, микроконтроллер, ионизирующие излучение

Введение. Для обеспечения радиационной безопасности населения и различных исследований необходимы сцинтилляционные кристаллы, что вызывает потребность к созданию вариантов исследовательских установок и стендов для исследования свойств сцинтилляционных кристаллов. Большинство существующих промышленных измерительных комплексов обладают высокой стоимостью и избыточной функциональностью, что ограничивает их применение в учебных и научно-исследовательских лабораториях

В данной статье автором предложен вариант стенда, в основе которого лежит работа с кремниевым фотоумножителем и сцинтилляционными кристаллами.

Основная часть. Формирование и обработка аналогового сигнала требуют точного согласования усилителя с входной ёмкостью фотодетектора и минимизации паразитных связей, что критично для сохранения формы импульса и отношения сигнал/шум.

Устройство для исследования характеристик сцинтилляционных кристаллов. Данное устройство используется для получения спектральных данных с исследуемого образца кристалла, для измерения параметров импульсов, полученных в результате воздействия ионизирующего излучения на сцинтилляционный кристалл. Напряжение питания ФЭУ составляет от -26 до -33 В, время измеряемого импульса должно находиться в рамках от 1 до 100 мкс., измеряемая амплитуда – от 0,1 до 1,1 В.

Снятие энергетического спектра и временной формы импульсов осуществляется с применением внешнего высокоскоростного АЦП, поскольку встроенные преобразователи микроконтроллеров не обеспечивают требуемого соотношения частоты дискретизации и разрядности. Подобные АЦП позволяют регистрировать сигналы длительностью единицы-десятки наносекунд и проводить их последующую цифровую обработку на персональном компьютере [1], [2].

Функциональное управление стендом, включающее установку и стабилизацию напряжения смещения, измерение температуры и обмен данными с ПК, реализуется на базе микроконтроллера STM32L452RET6. Данный контроллер характеризуется низким энергопотреблением и достаточной производительностью для задач управления и интерфейсного обмена. Связь с компьютером может осуществляться через интерфейсы UART или USB, что обеспечивает возможность удалённого контроля и автоматизации экспериментов.

Прототипом целесообразно считать патент CN 106597569 A (Multifunctional scintillation crystal testing platform), описывающий многофункциональный стенд для исследования сцинтилляционных кристаллов. Данное решение включает регулируемое питание, модульную структуру измерительных каналов, возможность контроля температуры и интерфейс связи с персональным компьютером [3]. По функциональному назначению и принципам организации

система наиболее близка к разрабатываемому стенду, рисунок 1.1. Патент US 10,564,299 B2 (Temperature compensation and bias stabilization for SiPM modules) можно считать вспомогательным аналогом – он отражает отдельный узел проектируемого стенда (систему температурной стабилизации и управления смещением SiPM), рисунок 1.

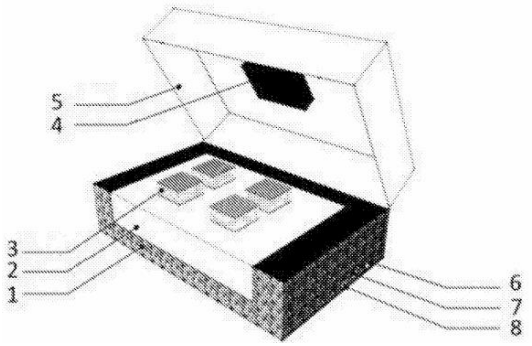


Рисунок 1 – Макет устройства исследовательской установки CN 106597569 A

Сравнение существующих лабораторных решений показывает, что большинство стендов ориентировано на измерение интегральных характеристик (световыход, энергоразрешение), тогда как универсальные системы, позволяющие исследовать форму сцинтилляционного импульса и управлять параметрами SiPM в автоматическом режиме, встречаются ограниченно и часто реализуются в виде исследовательских установок.

Предложенный стенд отличается использованием малошумящего усилителя OPA656, управлением рабочими параметрами через STM32L452RET6 и применением внешнего АЦП для точного снятия формы сигнала. Такое сочетание компонентов обеспечивает высокую воспроизводимость измерений, возможность дистанционного управления и адаптацию к различным типам сцинтилляционных кристаллов.

Кроме того, стенд предусматривает внешнюю оцифровку сигнала с помощью высокоскоростного АЦП и модульную архитектуру с возможностью подключения к ПК, что обеспечивает гибкость экспериментов и удобство сбора данных. Среди аналогов лишь частично реализованы отдельные функции, такие как управление питанием, температурная компенсация или модульность, однако ни одно решение не объединяет их все в единой системе.

Для большего понимания рассмотрим структурную схему устройства, рисунок 2.

В состав устройства входят следующие функциональные блоки: блок связи с ПК и питания, блок стабилизации напряжения, блок фильтра опорного напряжения, блок управления, блок накачки напряжения смещения, блок регулировки, блок усиления сигнала и блок внешнего двухполярного питания.

Блок связи с ПК и питания обеспечивает обмен данными между устройством и компьютером, а также питание устройства через порт USB. По линии USB подаётся напряжение +5 В, используемое для питания цифровых цепей и формирования опорных напряжений.

Блок стабилизации напряжения 3,3 В служит для формирования стабильного питающего напряжения микроконтроллера и других цифровых узлов. Наличие стабилизатора необходимо для обеспечения надёжной работы логических цепей при возможных колебаниях напряжения на шине USB.

Блок фильтра опорного напряжения отделяет аналоговую часть устройства от цифровой, снижая уровень пульсаций и помех. Фильтр обеспечивает чистое и стабильное опорное напряжение для АЦП микроконтроллера, а также для блока регулировки и накачки напряжения смещения, что особенно важно при работе с малыми аналоговыми сигналами.

Блок управления, построенный на микроконтроллере STM32L452RET6, выполняет функции централизованного контроля и управления всеми процессами. Он задаёт параметры

накачки, контролирует уровень смещения SiPM, управляет обменом данными с ПК, а также обеспечивает работу вспомогательных модулей. От его корректной работы зависит стабильность функционирования всего устройства.

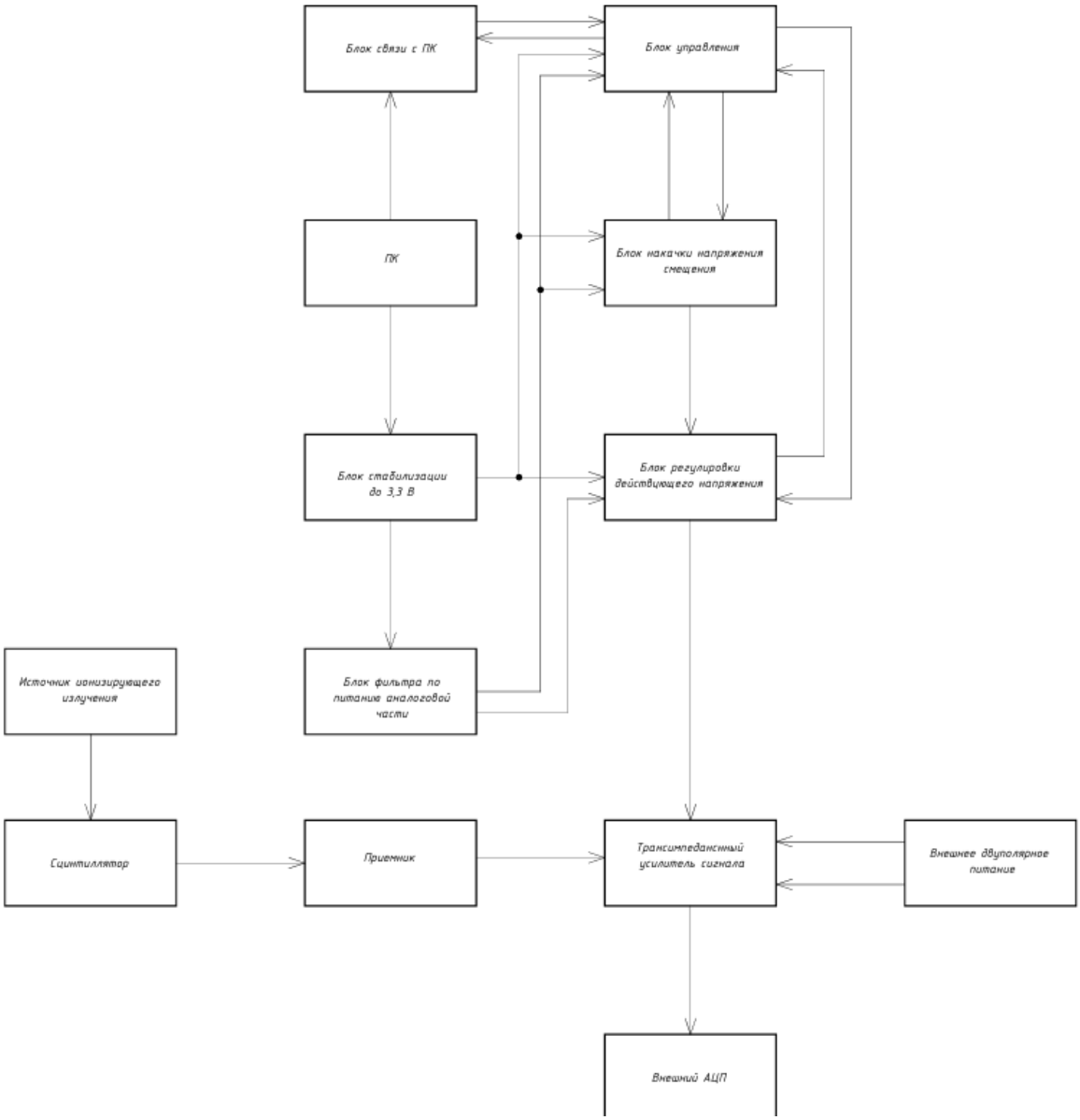


Рисунок 2 – Структурная схема устройства

Блок накачки напряжения смещения формирует отрицательное напряжение порядка – 33 В, необходимое для питания фотоприёмника SiPM. Напряжение генерируется по сигналам от блока управления и поступает на блок регулировки, где производится его точная подстройка.

Блок регулировки осуществляет измерение и стабилизацию действующего напряжения смещения, подаваемого на SiPM. При отклонении уровня от заданного диапазона блок посылает управляющий сигнал в микроконтроллер, который корректирует выходное напряжение накачки, поддерживая стабильную работу фотоприёмника.

Блок усиления сигнала принимает слабый токовый сигнал от SiPM и преобразует его в напряжение, подходящее для дальнейшей обработки внешним АЦП. Усилитель также согласует импеданс между фотоприёмником и измерительным трактом, минимизируя искажения и шумы.

Блок внешнего двухполярного питания обеспечивает операционный усилитель напряжением ±6 В. Данное питание должно обладать минимальным уровнем шумов и пульсаций, поскольку качество усиленного сигнала напрямую влияет на точность регистрации событий в детекторе.

Таким образом, структурная схема устройства отражает модульный принцип построения системы, где каждый блок выполняет строго определённую функцию, а взаимодействие между ними обеспечивает стабильную работу стенда, точное управление напряжением смещения SiPM и качественное усиление сигнала с минимальными искажениями.

Заключение. Предложен вариант стенда для исследования сцинтилляционных кристаллов при взаимодействии с кремниевым фотоумножителем, классическим вакуумным ФЭУ. Выполнен анализ схемы электрической структурной.

Список литературы

1. *Growth and Evaluation of Improved CsI:Tl and NaI:Tl Scintillators. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.mdpi.com/2073-4352/12/11/1517.*

2. *Study of scintillation properties and performance of CsI(Tl) detectors over time – [Электронный ресурс] – Режим доступа : https://tinyurl.com/2xxbpbc4.*

3. *CN 106597569 A – Multifunctional scintillation crystal testing platform. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://patents.google.com/patent/CN106597569A/en.*

UDC 621.3.049.77–048.24:537.2

SCINTILLATION CRYSTALS RESEARCH STAND

Navumchyk P.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Sobchuk N.S. – Senior Lecturer of the Department of Electronic Engineering and Technology

Annotation. Since scintillation crystals are more relevant than ever in radiometry and dosimetry, we offer a scintillation crystal research setup with USB-C connectivity to a personal computer, adjustable setup parameters, and signal acquisition via an external analog-to-digital converter.

Keywords: scintillator, SiPM, photomultiplier, microcontroller, ionizing radiation

УДК 621.311.25:621.039

ИЗМЕРИТЕЛЬ ТОКА НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТА ХОЛЛА С ЦИФРОВЫМ ИНТЕРФЕЙСОМ

Раткевич И.И.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Собчук Н.С. – ст. преподаватель кафедры ЭТТ

Аннотация. Разработан цифровой измеритель постоянного и переменного тока на основе эффекта Холла, обеспечивающий измерение с гальванической развязкой и передачу данных по цифровому интерфейсу. В работе рассмотрен принцип действия устройства, структурная и схемотехническая реализация, а также конструктивно-технологические особенности электронного модуля. Обоснован выбор элементной базы, материалов печатной платы и типа монтажа. Разработанное устройство ориентировано на применение в составе систем мониторинга и управления электроэнергетическими процессами.

Ключевые слова: измеритель тока, эффект холла, измерение постоянного и переменного тока, цифровой интерфейс, печатная плата, гальваническая развязка, микроконтроллер

Введение. Измерение электрического тока является одной из ключевых задач в системах управления, защиты и мониторинга электрических цепей. Точность и надёжность измерений напрямую влияют на корректность работы силовой электроники, источников питания и автоматизированных систем управления. Традиционные методы измерения тока, такие как шунтовые и трансформаторные, обладают рядом ограничений, связанных с отсутствием гальванической развязки либо невозможностью измерения постоянного тока.

Перспективным направлением является применение датчиков тока на основе эффекта Холла, обеспечивающих бесконтактное измерение как постоянного, так и переменного тока с гальванической развязкой между измерительной и силовой цепями. Использование цифровых интерфейсов передачи данных позволяет интегрировать такие измерители в современные микропроцессорные системы без дополнительной аналоговой обработки сигналов.

В данной статье автором показано, конструкция цифрового измерителя тока на основе эффекта Холла, обладающего компактной конструкцией, технологичностью изготовления и возможностью применения в составе радиоэлектронных средств различного назначения.

Основная часть. Принцип работы измерителя основан на использовании эффекта Холла, заключающегося в возникновении поперечного электрического напряжения в полупроводниковом элементе при воздействии магнитного поля, создаваемого током в проводнике. Измеряемый ток пропускается через токоведущий проводник, расположенный вблизи чувствительного элемента датчика Холла, при этом прямое электрическое соединение с измеряемой цепью отсутствует.

Магнитное поле, пропорциональное величине тока, преобразуется датчиком Холла в электрический сигнал, который далее усиливается, оцифровывается и передаётся в цифровом виде во внешнюю систему управления или мониторинга. Такой подход обеспечивает гальваническую развязку, повышает электрическую безопасность и устойчивость устройства к помехам.

Устройство включает следующие основные функциональные блоки:

- датчик тока на основе эффекта Холла;
- блок усилителей и фильтров;
- аналого-цифровой преобразователь (АЦП);
- микроконтроллер с цифровым интерфейсом;
- интерфейс подключения к внешнему управляющему устройству.

Аналоговый сигнал с датчика Холла поступает на вход блок усилителей и фильтров, где выполняется его усиление и фильтрация, после чего сигнал поступает в АЦП для

преобразования в цифровую форму и после поступает вход микроконтроллера, где формирование выходных данных. Передача измеренной информации осуществляется по цифровому интерфейсу во внешнее управляющее устройство, например, микроконтроллерную систему или персональный компьютер.

На рисунке 1 представлена структурная схема измерителя тока.

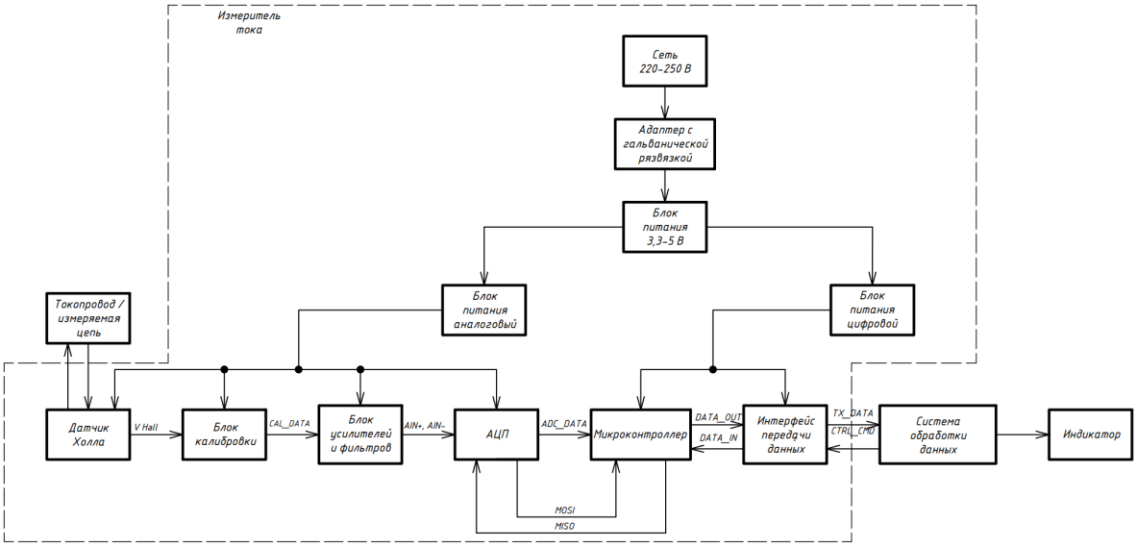


Рисунок 1 – Структурная схема измерителя тока

Схема электрическая принципиальная представлена на рисунке 2.

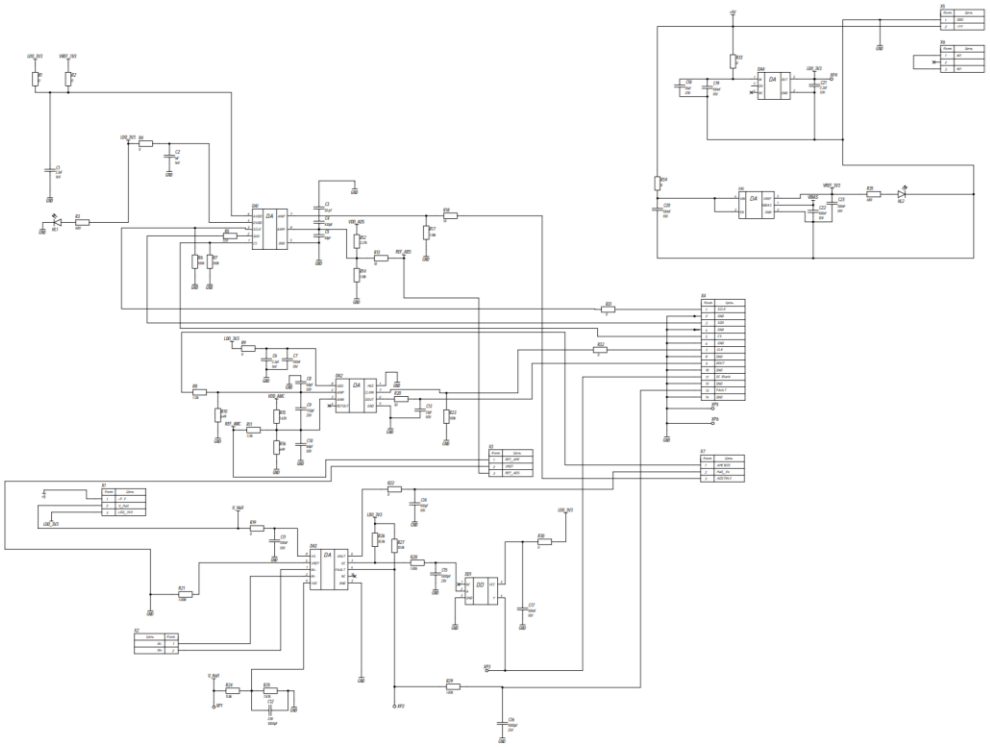


Рисунок 2 – Схема электрическая принципиальная измерителя тока

Схема включает датчик Холла, стабилизатор напряжения, аналогового усилителя, АЦП, источника опорного напряжения, микроконтроллер и элементы фильтрации питания. Раздельное питание аналоговой и цифровой частей обеспечивает снижение уровня шумов и

повышение точности измерений. Для подключения внешних устройств предусмотрены разъёмы питания и интерфейса передачи данных.

Электронный модуль выполнен на печатной плате из стеклотекстолита FR-4 с применением поверхностного монтажа SMD-компонентов, что обеспечивает компактность конструкции и высокую технологичность изготовления. Конструкция платы предусматривает минимизацию паразитных наводок и разделение аналоговых и цифровых цепей.

Корпус устройства обеспечивает механическую защиту и устойчивость к внешним воздействиям, а также удобство монтажа в составе радиоэлектронных средств.

Заключение. В результате работы разработан измеритель тока на основе эффекта Холла с цифровым интерфейсом, обеспечивающий измерение тока с гальванической развязкой и цифровой передачей данных. Предложенные схемотехнические и конструктивные решения позволяют использовать устройство в системах мониторинга и управления электрическими параметрами. Полученные результаты подтверждают целесообразность применения эффекта Холла для построения компактных и технологичных измерительных модулей.

Список литературы

1. *Волков, А. В. Датчики физических величин: принципы работы и применение / А. В. Волков – М.: Радио и связь, 2018. – 304 с.*
2. *Allegro Microsystems. «Hall-Effect Sensor ICs: Technical Guide and Design Considerations.» – Worcester, MA, 2021. – 35 p.*
3. *Infineon Technologies. «Principles of Hall Effect Current Sensors.» – Application Note AN_2018-09, 2019. – 22 p.*
4. *Texas Instruments. «Hall-Effect Current Sensor Design Considerations.» – Application Report SLYY198, 2020. – 18 p.*
5. *Михайлов, А. А. Микроконтроллерные системы измерения и управления / А. А. Михайлов – СПб.: БХВ-Петербург, 2020. – 384 с.*

UDC 621.311.25:621.039

HALL EFFECT CURRENT METER WITH DIGITAL INTERFACE

Ratkevich I.I.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus
Sobchuk N. S. – Senior lecturer at the ETT Department

Annotation. A digital Hall effect-based DC and AC current meter has been developed, providing galvanically isolated measurement and data transmission via a digital interface. The paper considers the principle of operation of the device, the structural and circuitry implementation, as well as the design and technological features of the electronic module. The choice of the element base, printed circuit board materials and mounting type is justified. The developed device is intended for use as part of monitoring and control systems for electric power processes.

Keywords: current meter, hall effect, DC and AC current measurement, digital interface, printed circuit board, galvanic isolation, microcontroller

УДК 621.7-4

ВЛИЯНИЕ ВИДА ВОЗБУЖДАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭНЕРГИИ В ОБЪЁМЕ РЕЗОНАТОРА СВЧ-ПЛАЗМАТРОНА

Шавня Д.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Мадвейко С.И. – к.т.н, доцент, заведующий кафедрой ЭТТ

Аннотация. В данной работе было проведено моделирование влияния вида возбуждающего устройства на распределение электромагнитной энергии в объёме резонатора СВЧ-плазматрона. Работа проводилась в программной среде MatLab. Было проведено сравнение возбуждающего зонда и щелевого возбуждения. По результатам работы было выявлено, что щелевое возбуждение является более эффективным способом возбуждения, позволяя добиться наиболее плотного и равномерного распределения электромагнитной энергии внутри резонатора. Прибавка в равномерности распределения в 2 раза больше, чем при зондовом возбуждении.

Ключевые слова. резонатор, электромагнитное поле, распределение энергии, щелевое возбуждение, равномерность поля, возбуждающее устройство, СВЧ-плазматрон, электромагнитная энергия, неоднородность поля.

Введение. Сверхвысокочастотные (СВЧ) плазматроны являются ключевыми элементами в современных технологиях, начиная от ускорителей заряженных частиц и заканчивая системами плазменной обработки материалов. В СВЧ плазматронах резонаторы используются для создания и поддержания плазмы, концентрируя электромагнитную энергию в ограниченном объеме. Эффективность такого устройства напрямую зависит от конфигурации электромагнитного поля внутри резонатора. В свою очередь, конфигурация поля зависит от вида возбуждающего устройства.

Выбор вида и места расположения возбуждающего устройства определяет, какие именно типы колебаний (моды) будут возбуждены в резонаторе, и насколько эффективно энергия генератора будет передана в объем. Неоптимальный выбор возбудителя может привести не только к снижению коэффициента полезного действия, но и к возникновению нежелательных паразитных мод, искажающих картину поля и ухудшающих однородность плазмы. В связи с этим, исследование влияния параметров возбуждающего устройства на распределение электромагнитной энергии является актуальной задачей, позволяющей оптимизировать работу СВЧ-плазматрона.

Основная часть. В качестве резонатора мы будем использовать камеру с размерами ширина a – 24 см, высота b – 34 см, длина L – 42 см. Внутри камеры установлена кварцевая труба с радиусом 8 см для установки в неё подложкодержателя с пластинами. Частота – 2,45 ГГц.

Для моделирования мы будем использовать программную среду MatLab [1]. В качестве критериев для сравнения возбуждающих устройств мы будем использовать равномерность распределения электромагнитного поля в области расположения подложкодержателя, а также максимальную напряженность поля, достигаемую в рабочем объеме.

В качестве аналитических формул для математической модели мы используем уравнения Максвелла и Гельмгольца [2]. По этим формулам было высчитано, что мода TE_{122} лучше всего подходит для нашей установки.

При щелевом возбуждении щель находится на верхней стороне резонатора. На рисунке 1 представлено 3D изображение распределения энергии внутри резонатора. На рисунке 2 представлено 3D изображение распределения внутри кварцевой трубы.

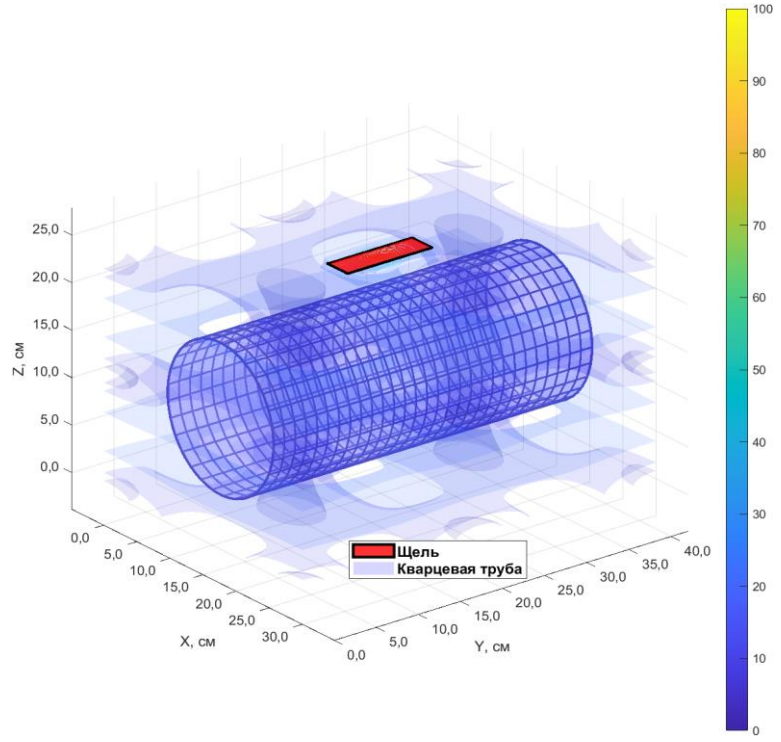


Рисунок 1 – 3D изображение распределения энергии в объёме резонатора при щелевом возбуждении

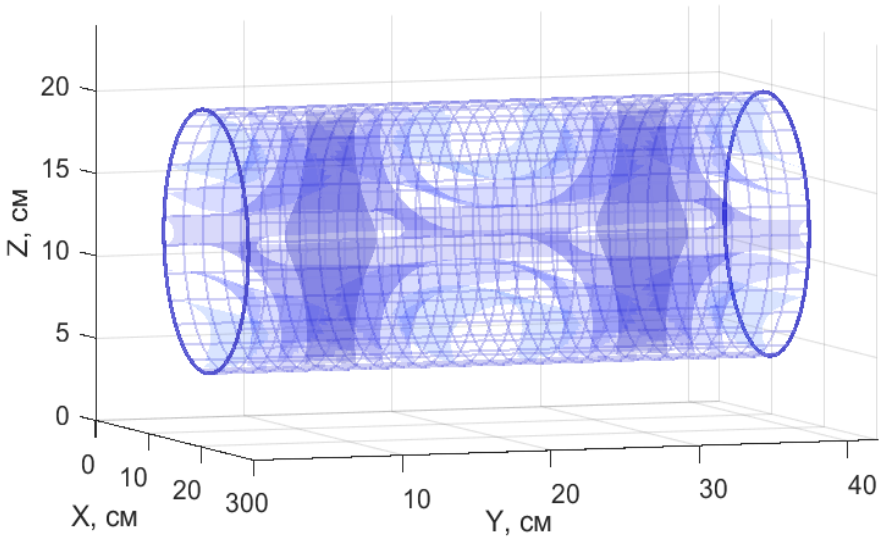


Рисунок 2 – 3D изображении распределения энергии в объёме кварцевой трубы

На рисунке 1 видно, что при щелевом возбуждении основная локальная энергия находится у самой щели, энергия сосредоточена преимущественно в кварцевой трубе, но также частично находится за её пределами. На рисунке 2 видны две области с минимальной энергией при y = 10 и y = 30, а также три области с максимумами на торцах трубы и в её центре.

На рисунке 3 изображён график распределения плотности энергии вдоль длины трубы.

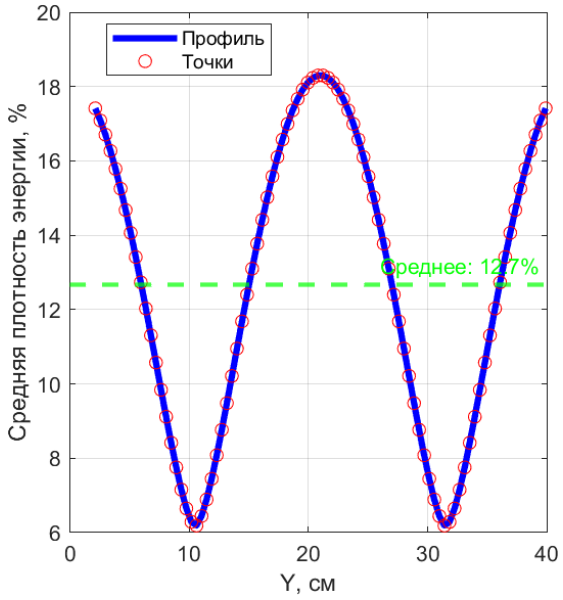


Рисунок 3 – график распределения плотности энергии вдоль длины трубы при щелевом возбуждении

Исходя из данных графика на рисунке 3 можно сказать, что при щелевом возбуждении происходит трёхвершинное распределение, что является следствием нахождения областей с пониженной и повышенной концентрацией энергии, соответствующих узлам и пучностям моды TE_{122}. Несмотря на близость средней и медианой плотности энергии (12,7% и 12,2% соответственно), говорящих о возможной высокой равномерности распределения, коэффициент равномерности составляет 0,516. Это указывает на наличие в объёме трубы как областей с высокой локальной концентрацией энергии (до 20%), так и областей со значительно более низкими значениями (около 0%), что обусловлено интерференционной структурой моды TE_{122}.

При зондовом возбуждении зонд находится на верхней стороне резонатора. На рисунке 4 представлено 3D изображение распределения энергии внутри резонатора. На рисунке 5 представлено 3D изображение распределения внутри кварцевой трубы.

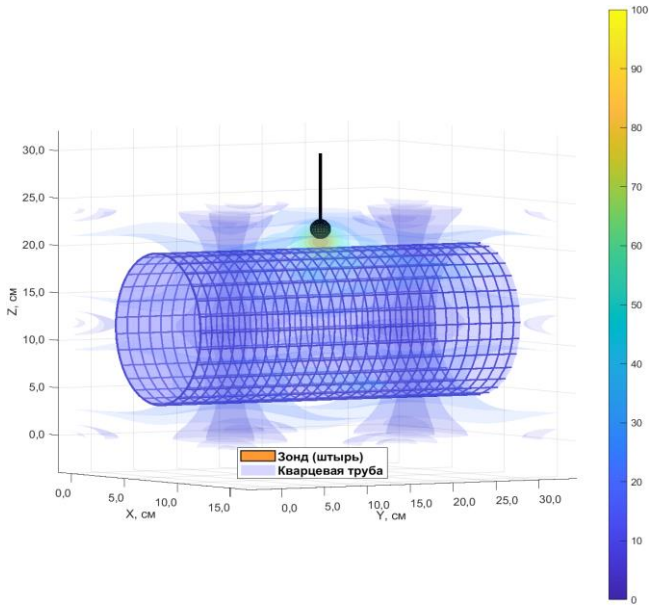


Рисунок 4 – 3D изображение распределения энергии в объёме резонатора при зондовом возбуждении

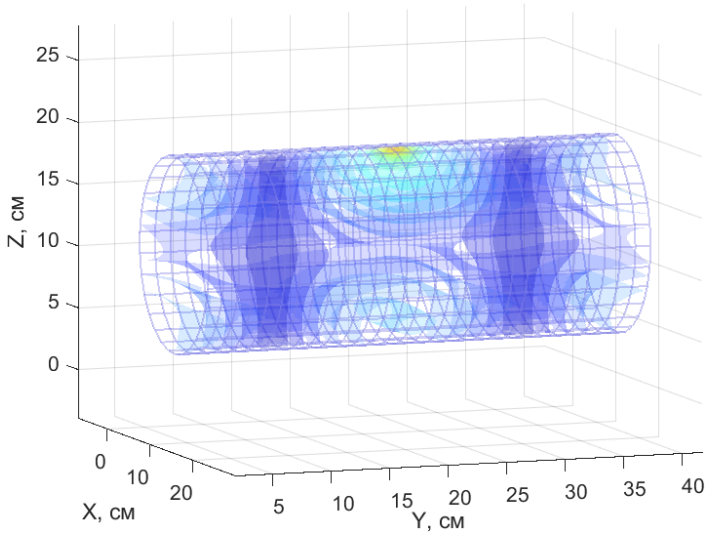


Рисунок 5 – 3D изображении распределения энергии в объёме кварцевой трубы

На рисунке 4 видно, что при зондовом возбуждении основная локальная энергия находится у зонда, но часть этой энергии попадает в трубу, что видно на рисунке 5. Так же в трубе всё также присутствует две области с минимальной энергией и три максимума. На рисунке 6 представлен график распределения плотности энергии вдоль длины трубы при зондовом возбуждении

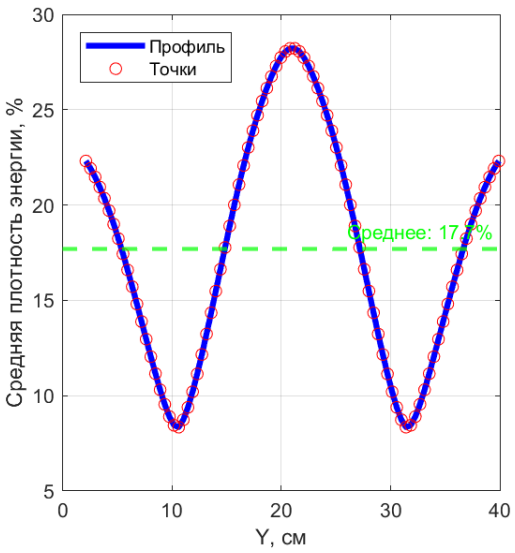


Рисунок 6 – график распределения плотности энергии вдоль длины трубы при зондовом возбуждении

По графику на рисунке 6 видно, что общий уровень средней плотности энергии увеличился, но из-за наличия области с повышенной энергией в центре равномерность распределения значительно упала до 0,216. При изменении положения зонда по оси Z равномерность может повысится, но тогда упадёт и значение энергии.

Заключение. В ходе моделирования установлено, что геометрия возбуждающего устройства влияет на равномерность распределения и плотность энергии в резонаторе СВЧ-плазматрона. Щелевое возбуждение обеспечивает наилучшее согласование с собственной модой TE_{122}, обеспечивая равномерность распределения энергии за счёт 2 зон с минимальной плотностью энергии и 3 зон с максимальной плотностью. Коэффициент равномерности распределения энергии составляет 0,516, что в 2,4 раза выше, чем при зондовом возбуждении (0,216). Зондовое возбуждение приводит к сильной локализации поля вблизи возбудителя и нарушению структуры моды, что снижает однородность обработки подложек.

Таким образом, для задач плазменной обработки, требующих высокой однородности поля, щелевой тип возбуждения является предпочтительным, позволяя увеличить эффективный объем плазмы и стабильность процесса.

Список литературы

1. *Дьяконов В.П. MATLAB. Полный самоучитель. – 2-е эл. изд.- Саратов: Профобразование, 2019. – 768 с.: ил.*
2. *Вайнштейн Л.А. Электромагнитные волны. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1988. – 440 с.: ил.*

UDC 621.7-4

INFLUENCE OF THE EXCITATION DEVICE TYPE ON THE ELECTROMAGNETIC ENERGY DISTRIBUTION IN THE VOLUME OF A MICROWAVE PLASMATRON RESONATOR

Shavnya D.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Madveiko S.I. – Cand. of Sci., associate professor, head of the department of ETT

Annotation. The modeling of the influence of the excitation device type on the electromagnetic energy distribution in the volume of a microwave plasmotron resonator was performed. The work was carried out in the MatLab software environment. A comparison between an excitation probe and slot excitation was conducted. It was revealed that slot excitation is a more effective method, allowing to achieve the most dense and uniform distribution of electromagnetic energy inside the resonator. The gain in distribution uniformity is 2 times higher than that of probe excitation.

Keywords: resonator, electromagnetic field, energy distribution, slot excitation, field uniformity, excitation device, microwave plasmatron, electromagnetic energy, field non-uniformity.

УДК 621.3

АЛГОРИТМ ФИЛЬТРАЦИИ КАЛМАНА ДЛЯ ОЧИСТКИ СИГНАЛА ФОТОЭЛЕКТРОННЫХ ДАТЧИКОВ В УСЛОВИЯХ ВИБРАЦИЙ ЛИТОГРАФИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Ахметзянов Г.Д.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Аваков С.М.— д-р техн. наук, профессор кафедры ЭТТ

Аннотация. Разработан метод фильтрации и отсеивания шумов и паразитных сигналов, рассмотрены стандартный и предиктивный методы фильтрации Калмана, вейвлет-преобразования, их преимущества перед традиционными методами фильтрации, а также возможности их использования в контексте фотолитографического оборудования

Ключевые слова. фильтрация Калмана, отсеивание шума, сглаживатель, вейвлет-преобразования, фотолитография

Введение. В современном литографическом оборудовании, таком как сканеры и степперы, предъявляются экстремальные требования к точности позиционирования, достигающей единиц нанометров. Фотоэлектронные датчики, включая лазерные интерферометры и емкостные датчики уровня, являются ключевыми элементами систем измерения положения стола и контроля фокусировки. Однако их сигналы подвержены интенсивному воздействию вибраций, возникающих из-за работы сервоприводов, клиновых редукторов, пьезодвигателей, газостатических направляющих, внешних фундаментных возмущений и собственных резонансных мод конструкции. Традиционные методы фильтрации, такие как фильтры нижних частот или скользящее среднее, в этих условиях либо вносят недопустимые фазовые задержки, либо недостаточно эффективны из-за нестационарного характера помех. В связи с этим применение алгоритма фильтрации Калмана становится необходимым инструментом для обеспечения требуемой точности измерений.

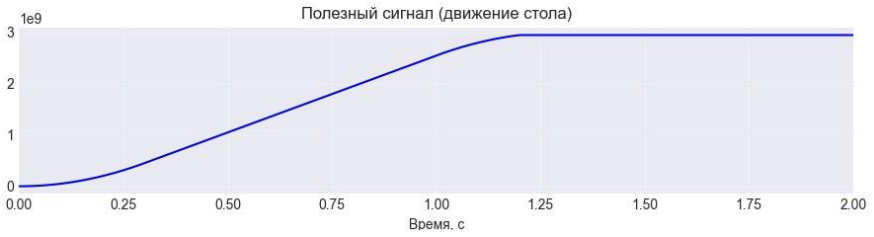


Рисунок 1 ─ Модель движения стола; координата x обозначает время работы стола в с, координата y ─ перемещение стола в мм

Задача. В идеальной системе позиционирования существует модель движения стола, представленная на рисунке 1. Однако при работе реального фотолитографического оборудования наблюдаются помехи, подобные тем, что представлены на рисунке 2. Чтобы устранить или, по крайней мере, минимизировать влияние вибраций и внешних шумов, необходимо разработать фильтр, создающий математическую модель, компенсирующую посторонние нежелательные эффекты.

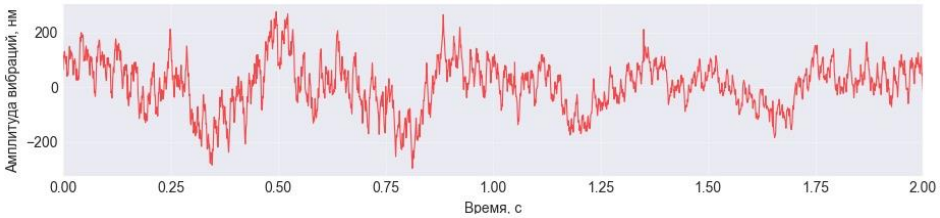


Рисунок 2 ─ Моделируемые вибрации (гармоники + импульсы)

Основная часть. Практическая реализация начинается с идентификации системы: необходимо снять спектр вибраций с помощью акселерометров, выделить доминирующие частоты и построить модели формирующих фильтров. Настройка ковариаций шума процесса и измерений должна учитывать физические ограничения динамики стола и реальный уровень шумов, полученный при неподвижном оборудовании. Критически важным аспектом является учет временных задержек, вносимых аналоговой частью датчиков и аналого-цифровыми преобразователями. Для компенсации этих задержек применяются фильтры Калмана со смещенной моделью или с функцией предсказания, что необходимо для предотвращения потери устойчивости на резонансных частотах сервоконтура [2].

Основой для синтеза фильтра служит модель динамики измеряемого параметра и модель измерительного тракта. В литографии наиболее адекватной является модель постоянной скорости или постоянного ускорения, где вектор состояния включает положение, скорость и, при необходимости, ускорение. Для литографического оборудования адекватной является модель постоянной скорости или постоянного ускорения (*модель Сигала*):

$$x_k = Fx_{k-1} + w_k, \quad w_k \sim N(0, Q), \tag{1}$$

где вектор состояния обычно включает:

p – положение (измеряемая величина);

v – скорость;

a – ускорение (опционально, для учета рывков при движении стола).

Матрица перехода F (для модели с постоянной скоростью, интервал времени Δt):

$$F = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t \\ 0 & 1 \end{bmatrix}. \tag{2}$$

Процесс измерения описывается *уравнением наблюдения*, в котором шум измерения в условиях вибраций не является белым, а содержит коррелированные составляющие на частотах от десятков до сотен герц. Фотоэлектронные датчики (например, лазерные интерферометры или емкостные датчики) выдают сигнал, искаженный вибрациями. Уравнение измерения:

$$z_k = Hx_k + v_k, \tag{3}$$

где H = [1,0] (измеряем только положение),

v_k – шум измерения. В условиях вибраций v_k не является белым шумом; он содержит коррелированные компоненты на частотах вибраций (десятки-сотни Гц).

При создании фильтра Калмана используется два вида шумов: *Q (*шум процесса) ─ Определяется физикой движения стола (максимальное ускорение, рывок); обычно задается как малая величина, соответствующая неопределенности модели движения. *R (шум измерения)* ─ Оценивается по статическим измерениям (стол неподвижен), а также анализ спектра вибраций; для адаптивных версий задается начальное приближение [1]. Стандартный фильтр Калмана предполагает априорно известные ковариации шумов (Q и R), однако вибрационный фон в оборудовании существенно меняется в зависимости от фазы цикла

экспонирования – разгона стола, стабилизации, самой экспозиции и торможения. Для решения этой проблемы применяются адаптивные модификации, в частности адаптивный фильтр Калмана, который оценивает ковариацию шума (Q и R) измерения в реальном времени на основе анализа инновационной последовательности (невязки). Это позволяет фильтру динамически подстраиваться под изменение амплитуды вибраций. Адаптивный фильтр *Калмана (AKF)* используется для оценки ковариации шума измерения R в реальном времени. Наиболее эффективен метод на основе инновационной последовательности (невязки):

$$\check{z}_k = z_k - H\hat{x}_{k|k-1}. \quad (4)$$

Эмпирическая ковариация инновации вычисляется как:

$$\hat{S}_k = \frac{1}{N}\sum_{i=k-N+1}^{k} \check{z}_i \check{z}_i^T. \quad (5)$$

Теоретическая ковариация инновации:

$$S_k = HP_{k|k-1}H^T + R_k. \quad (6)$$

Более эффективным подходом к подавлению узкополосных вибраций является использование формирующих фильтров, реализуемое через расширение вектора состояния. В этой модели вибрации описываются собственными динамическими уравнениями, а расширенный вектор состояния объединяет физические переменные движения и компоненты вибрационного воздействия.

Модель вибрации (например, для одной гармоники) описывается формирующим фильтром:

$$d_{k+1} = A_d d_k + w_{d,k}. \quad (7)$$

Расширенный вектор состояния:

$$x_k^{aug} = \begin{bmatrix} x_{physics} \\ d_{vibration} \end{bmatrix} \quad (8)$$

Такой подход позволяет фильтру Калмана не просто сглаживать зашумленный сигнал, а вычитать из измерений оцененную составляющую вибрации, выделяя полезный сигнал перемещения стола практически без фазовых искажений. Дополнительная сложность возникает в замкнутых системах управления, где датчики работают в контуре активной виброизоляции и сервоприводов. Здесь в уравнения состояния вводится управляющее воздействие, а при корреляции шумов процесса и измерений применяются специализированные модификации фильтра, например, с коррелированными шумами.

Для сверхточных применений, таких как иммерсионная или EUV-литография, часто используются гибридные схемы. Сочетание вейвлет-преобразования с фильтром Калмана позволяет эффективно разделять нестационарные ударные воздействия от полезного сигнала и последующей фильтрации каждого уровня декомпозиции. Для задач пост-обработки, например при калибровке датчиков или анализе качества экспозиции, применяется сглаживатель Калмана, который обрабатывает данные не только в прямом, но и в обратном времени, обеспечивая нулевую фазовую задержку.

Исходя из рисунка 3, видно, что гибридная фильтрация (вейвлет + Калман) наиболее эффективна и приближена к полезному сигналу.

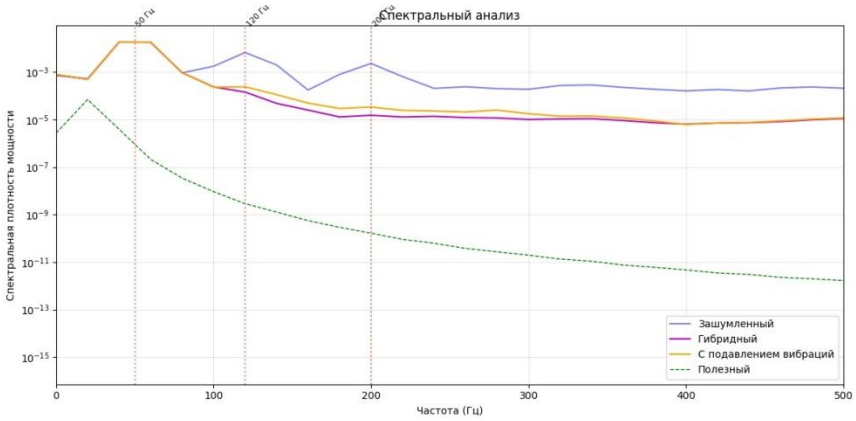


Рисунок 3 ─ Спектральный анализ различных методов фильтрации

По сравнению с классической фильтрацией, калмановский подход обеспечивает отсутствие фазового набега в полосе пропускания полезного сигнала, что критически важно для синхронизации движения стола и ретикла. Кроме того, фильтр предоставляет оценку ненаблюдаемых переменных, таких как скорость и ускорение, с существенно меньшим уровнем шума, чем при численном дифференцировании, что позволяет улучшить работу предиктивных контроллеров. Адаптивность алгоритмов обеспечивает стабильность работы в переходных режимах разгона и торможения, где статические фильтры становятся неэффективными.

Заключение. Таким образом, применение расширенных и адаптивных фильтров Калмана с формирующими фильтрами для учета цветного шума вибраций является оптимальным решением для обеспечения нанометровой точности совмещения и фокусировки в современном литографическом оборудовании.

Список литературы

1. *Теория фильтрации зашумленных сигналов / Балакришнан А.В. // Адыгейский государственный университет – 2014, Майкоп, Адыгея*

2. *Метод фильтрации шумов в сигнале гироскопического датчика на основе адаптивного альфа-бета-фильтра Калмана / Волков Д.М., Савельев А.И. // Вестник Южно-Уральского университета. Серия: Математика. Механика. Физика – 2024, Том 16, № 4, стр. 16–23.*

3. *Vibration Sensing Demodulation Method Based on Unscented Kalman Filter / Fan, R., Chu, F., & Bian, Z. // Journal of Shanghai University of Electric Power – 2024, Vol. 40, No. 6, pp. 564–570.*

UDC 621.3

A KALMAN FILTERING ALGORITHM FOR CLEANING PHOTOELECTRONIC SENSORS SIGNAL UNDER VIBRATIONS OF LITHOGRAPHIC EQUIPMENT

G.D. Akhmetzyanov

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

S.M. Avakov – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Department of Electronic and TFT

Annotation. Methods for filtering and eliminating noise and spurious signals, gradient and predictive Kalman filtering standards, wavelet transforms, their advantages over filtering methods, and the potential for their use in 10x photolithographic equipment are developed.

Keywords: Kalman filtering, noise elimination, smoother, wavelet transforms, photolithography

УДК 621.3

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ СКОРОСТИ ИОННО-ЛУЧЕВОГО ТРАВЛЕНИЯ КВАРЦА ПРИ ВАРЬИРОВАНИИ УГЛА НАКЛОНА ИОННОГО ПУЧКА

Ходяков И.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Трапашко Г.А. – к. т. н., доцент, доцент кафедры ЭТТ

Аннотация. В работе исследована зависимость скорости ионно-лучевого травления кварцевой подложки от угла падения ионного пучка при фиксированных параметрах обработки. Эксперимент проводился с использованием ионного пучка с аргоном в качестве рабочего газа, энергией 1000 эВ и шириной 8 мм. На поверхности образца сформированы локальные области травления при углах падения в диапазоне от 0° до 40° при постоянном времени воздействия 300 с для каждой точки. Установлено, что с увеличением угла наклона ионного пучка наблюдается рост глубины травления, достигающий двукратного увеличения по сравнению с нормальным падением. Результаты работы могут быть использованы при оптимизации процессов ионно-лучевой полировки оптических элементов.

Ключевые слова. ионно-лучевое травление, ионно-лучевая полировка, кварц, угол падения, скорость травления, коэффициент распыления, оптические элементы, обработка поверхности

Введение. Корректировка формы и качества поверхности оптических элементов, является одной из ключевых задач прецизионной оптики и приборостроения. Повышение требований к точности оптических систем, применяемых в лазерной технике, микроэлектронике и сенсорных устройствах, обусловливает необходимость получения поверхностей с нанометровой шероховатостью и минимальными дефектами. Традиционные методы механической обработки, такие как шлифование и полирование, не всегда обеспечивают требуемую точность и могут приводить к появлению микродефектов и повреждений поверхностного слоя [1]. В связи с этим всё более широкое применение находят методы ионно-лучевой обработки. Данные методы обеспечивают высокую степень гладкости поверхности, вплоть до субнанометровых значений шероховатости, и эффективно устраняют дефекты, возникающие после традиционной обработки [1].

Физическая основа ионно-лучевой полировки связана с процессами взаимодействия ускоренных ионов с атомами твёрдого тела. При попадании иона в материал происходит передача энергии атомам мишени, что приводит к каскаду столкновений и выбиванию атомов с поверхности. Практическая значимость ионно-лучевой полировки проявляется при обработке кварцевых подложек и оптических элементов, где требуется высокая точность формы и минимальные поверхностные дефекты. Однако в процессе обработки могут возникать нежелательные эффекты, такие как перераспыление материала, образование дефектов и изменение структуры поверхности, что требует детального исследования закономерностей процесса [2].

Особое значение для процессов ионно-лучевой обработки имеет угол падения ионного пучка. Известно, что коэффициент распыления и скорость травления существенно зависят от этого параметра: при наклонном падении ионов увеличивается вероятность передачи импульса поверхностным атомам, что приводит к росту скорости удаления материала [3].

Дополнительные особенности процесса связаны с типом используемых ионов. При использовании молекулярных ионов наблюдается их распад на атомы при взаимодействии с поверхностью, что приводит к изменению распределения энергии и глубины проникновения в материал. Это, в свою очередь, влияет на характер формирования дефектов и эффективность распыления [4].

Анализ современных исследований показывает, что процессы ионно-лучевого травления и полировки определяются сложным взаимодействием параметров пучка (энергии, угла падения, состава ионов) и свойств материала. Несмотря на значительное количество работ, остаётся актуальной задача установления закономерностей изменения скорости травления в зависимости от угла наклона ионного пучка, особенно для кварцевых материалов, широко используемых в оптических системах.

Целью данной работы является исследование закономерностей изменения скорости ионно-лучевого травления кварца при варьировании угла наклона ионного пучка, а также

анализ влияния данного параметра на качество поверхности при корректировке формы линз методом ионно-лучевой полировки.

Основная часть. Исследование зависимости скорости ионно-лучевого травления от угла падения ионов проводилось на кварцевых подложках с использованием метода ионно-лучевой обработки.

Ионный пучок формировался с использованием аргона в качестве рабочего газа. Обработка осуществлялась с использованием ионного источника, формирующего пучок с энергией ионов 1000 эВ. Ширина ионного пучка составляла 8 мм, что обеспечивало локализованное воздействие на поверхность образца и формирование отдельных зон травления. Время воздействия ионного пучка составляла 300 с в каждой точке.

Для исследования угловой зависимости скорости травления на поверхности кварцевой подложки были сформированы локальные области обработки в виде углублений. Формирование данных областей осуществлялось при различных углах падения ионного пучка относительно нормали к поверхности. Угол наклона пучка варьировался в диапазоне от 0° до 40°.

В ходе эксперимента было сформировано девять отдельных углублений, соответствующих различным значениям угла падения (рис. 1). Все остальные параметры обработки, включая энергию ионного пучка и геометрию воздействия, поддерживались постоянными, что обеспечивало возможность корректного сопоставления результатов. Контроль полученных данных происходил на интерферометре.

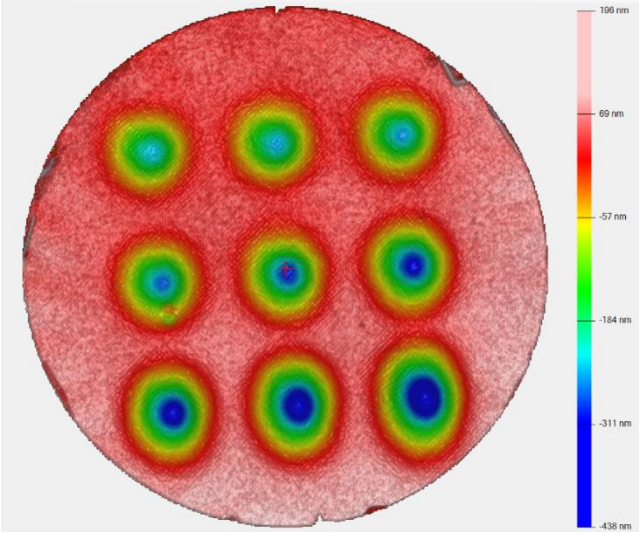


Рисунок 1 – Интерферограмма поверхности кварцевой подложки с локальными областями обработки в виде углублений при различных углах падения ионного пучка

После завершения обработки проводилось измерение глубины сформированных углублений. Полученные значения использовались для оценки интенсивности удаления материала при различных углах падения ионов. Результаты измерений представлены в таблице 1.

Таблица 1 – результаты измерения глубины травления кварцевой подложки при различных углах падения ионного пучка

Угол наклона пучка, град.	Глубина травления, нм
0	239,27
5	270,10
10	286,29
15	289,01
20	334,19
25	369,33
30	399,21
35	437,09
40	480,97

С увеличением угла наклона пучка наблюдается устойчивый рост глубины сформированных углублений. В исследуемом диапазоне углов глубина травления увеличивается приблизительно в два раза. Полученная зависимость свидетельствует о повышении эффективности ионного распыления при увеличении угла падения ионов. Это

обусловлено изменением характера передачи энергии в приповерхностном слое. При наклонном падении возрастает вероятность передачи импульса поверхностным атомам, что приводит к увеличению коэффициента распыления. В случае нормального падения часть энергии ионов рассеивается в глубине материала, снижая эффективность удаления вещества.

Заключение. Экспериментально установлено, что с увеличением угла наклона ионного пучка в диапазоне от 0° до 40° наблюдается устойчивый рост скорости травления. Максимальная глубина составляет 480.968 нм, что примерно в два раза превышает значение, полученное при нормальном падении ионов. Это свидетельствует о существенном увеличении эффективности удаления материала при наклонном падении пучка. В исследуемом диапазоне углов реализуется возрастающий участок зависимости скорости травления от угла падения, что согласуется с современными представлениями о механизмах ионно-лучевого травления [1].

Установленные зависимости могут применяться для ограничения угла наклона ионного пучка при обработке линз с большой кривизной поверхности, что позволяет обеспечить требуемую равномерность травления и повысить качество формируемой поверхности.

Список литературы

1. *Ion polishing of fused silica by low-energy ion beams / N. I. Chkhalo, A. E. Pestov, N. N. Salashchenko [et al.] // Applied Optics. – 2016. – Vol. 55, No. 22. – P. 6191–6198.*

2. *Angle-dependent ion beam etching of RuAl thin films for structuring GHz-frequency electronics / S. Hampel, R. Voigtländer, T. König [et al.] // Journal of Materials Science: Materials in Electronics. – 2024. – Vol. 35. – Art. 204.*

3. *Molecular ion induced surface amorphization of silicon: a comparative study using molecular dynamics simulations / M. Schmidt, M. Emmert, M. Seibt // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. – 2017. – Vol. 411. – P. 119–126.*

4. *Molecular dynamics simulation of ion beam polishing of silicon surface / Y. Xiao, H. Wu, J. Li [et al.] // Applied Surface Science. – 2021. – Vol. 546. – Art. 149094.*

UDC 621.3

ANGLE DEPENDENCE OF ION BEAM ETCHING RATE OF QUARTZ SUBSTRATES FOR OPTICAL SURFACE CORRECTION

Khodiakov I.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Trapashko G.A. – Cand. Of Sci., associate professor, associate professor of the department of ETT

Annotation. This work investigates the dependence of the ion beam etching rate of quartz substrates on the ion incidence angle under fixed processing conditions. The experiment was carried out using an argon ion beam with an energy of 1000 eV and a beam width of 8 mm. Local etching areas were formed on the sample surface at incidence angles ranging from 0° to 40°, with a constant irradiation time of 300 s for each point. It was found that the etching depth increases with increasing ion incidence angle, with the maximum value being approximately twice as high as that at normal incidence. The observed behavior is attributed to the enhanced energy transfer to near-surface atoms at oblique ion incidence, leading to an increase in sputtering efficiency. The results confirm that the ion incidence angle is a key parameter governing the ion beam etching process. The obtained data can be used for optimization of ion beam polishing processes in optical applications, particularly for limiting the incidence angle during the correction of lenses with high surface curvature.

Keywords: ion beam etching, ion beam polishing, quartz substrate, ion incidence angle, sputtering yield, etching rate, optical elements, surface correction

УДК 621.3.049.77–048.24:537.2

ВСТРАИВАЕМЫЙ МОДУЛЬ РАСШИРЕНИЯ USB

Логвинов Д.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Собчук Н.С. – ст. преподаватель кафедры ЭТТ

Аннотация. Представлена разработка встраиваемого модуля расширения USB для интеграции в мебель офисной, лабораторной и промышленной среды. Цель – обеспечить высокоскоростной обмен данными и гибкое питание. Конструкция выполнена во врезном исполнении с отводом тепла и виброустойчивым креплением. Функционально поддерживаются SuperSpeed до 5 Гбит/с и профили питания 5…9 В. Отмечены технологичность, маршрут сборки и готовность к опытно-промышленной эксплуатации.

Ключевые слова: встраиваемый модуль, врезной модуль, USB-порты, передача данных, зарядное устройство

Введение. Широкое внедрение встраиваемых USB-модулей с поддержкой SuperSpeed и ускоренной зарядки, чувствительных к электромагнитным помехам, нарушению целостности сигнала и электростатическим разрядам, выдвигает задачи обеспечения ЭМС, тепловой устойчивости и периодического функционального контроля на одно из первых мест [1].

В данной статье показано, что ухудшение качества обмена и питания может наступать уже при некритичных воздействиях, что приводит к росту ошибок передачи, ложным срабатываниям защит и скрытым отказам, требующим специальных конструктивно-схемотехнических решений.

Основная часть. Встраиваемый USB-модуль предназначен для интеграции в мебель и офисные рабочие места. Он обеспечивает быстрый доступ к питанию и передаче данных без внешних хабов, совместим с ПК, может работать как концентратор для наращивания числа портов и поддерживает современные профили USB-питания и обмена скоростных данных в средах с повышенными требованиями к надёжности и ЭМС.

Корпус пластмассовый во врезном исполнении с лицевой панелью и винтовой фиксацией. Тепло в блоке распределяется равномерно и соответствует нормам безопасности и требованиям к эффективности, что обеспечивает устойчивое функционирование электронной компонентной баз. Печатная плата многослойная с контролируемым импедансом высокоскоростных пар. Перечисленные технические возможности делают разработанный модуль полноценным и надёжным узлом расширения USB-интерфейса. Он объединяет высокоскоростной цифровой интерфейс, гибкое управление питанием и современные средства защиты. В результате устройство гарантирует одновременно стабильную связь и безопасность при работе с широким спектром периферийных устройств [2].

Блок питания обеспечивает электромагнитную совместимость по входу и стабильность питания последующих узлов. Два независимых понижающих преобразователя 5 В формируют напряжение для питания шин VBUS USB-портов или логических цепей где разделение на два канала снижает токовую нагрузку каждого преобразователя. Наличие отдельного 9-вольтового преобразователя предусмотрено для скоростного питания периферийных устройств. Контроллер данных является центральным логическим блоком, обеспечивающим коммутацию трафика USB. Блоки «Ввод/вывод данных» являются множественными идентичными интерфейсными узлами, обеспечивающими подключение к персональному компьютеру и к внешним периферийным устройствам. Структурная схема устройства указана на рисунке 1.

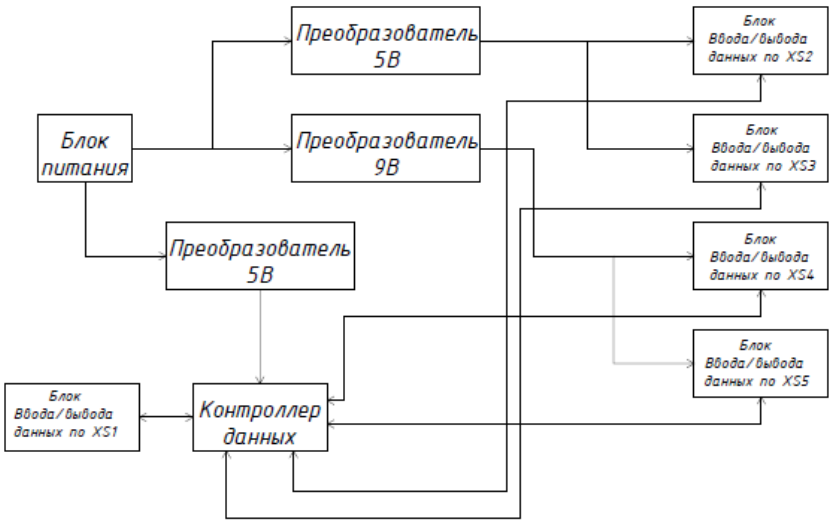


Рисунок 1 – Электрическая структурная схема устройства

Надёжность разработанного USB-модуля оценивалась теоретически методом суммирования параметров компонентов на отказ по модели прогнозирования эксплуатационной безотказности элементов производства стран СНГ. Были учтены климатические и механические факторы эксплуатации. Ключевыми показателями надёжности являются средняя наработка на отказ которая рассчитывается по формуле

$$T_0 = \frac{1}{\lambda} \cdot 10^6 \text{ ч.} \quad (1)$$

где T_o – наработка на отказ, ч;

λ – сумма параметров компонентов на отказ.

Следует отметить, что реальная наработка на отказ устройства в значительной степени зависит от условий эксплуатации. Работа при повышенной температуре или влажности, частые механические удары могут несколько снизить долговечность. Тем не менее, даже в жёстких условиях можно ожидать срок бесперебойной службы, измеряемый десятками тысяч часов. Предложенный модуль не содержит движущихся частей и рассчитан на безотказную работу в течение всего жизненного цикла целевого изделия [3].

Заключение. Таким образом, результаты работы демонстрируют целесообразность применения разработанного USB-модуля в различных сферах. Достигнутое сочетание функциональности, надёжности и простоты интеграции делает устройство привлекательным для внедрения в умную мебель, научно-образовательные комплексы и промышленные системы, где растёт спрос на встроенные средства подключения и зарядки USB-устройств. В будущем планируется экспериментальная эксплуатация опытных образцов модуля в реальных условиях и накопление статистических данных, что позволит ещё более точно оценить его надёжность и при необходимости внести дополнительные улучшения. Тем не менее, уже на текущем этапе разработки очевидно, что предложенное решение обладает высоким потенциалом и отвечает актуальным потребностям отрасли.

Список литературы

1. *Universal serial bus 3.0 specification / Hewlett-Packard Company, Intel Corporation, Microsoft Corporation, NEC Corporation, ST-NXP Wireless, Texas Instruments – 2008. – Pp. 487.*
2. *USB-IF. USB 3.2 Language Usage Guidelines. – [Электронный ресурс] Режим доступа: https://www.usb.org/sites/default/files/usb_3_2_language_product_and_packaging_guidelines_final.pdf*
3. *Расчет показателей надежности радиоэлектронных средств [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://libeldoc.bsuir.by/bitstream/123456789/25651/1/Borovikov_2010.pdf*

UDC 621.3.049.77–048.24:537.2

BUILT-IN USB EXPANSION MODULE

Logvinov D.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Supervisor: N.S. Sobchuk – Senior Lecturer of the Department of ETT

Annotation. A development of a built-in USB expansion module for integration into office, laboratory, and industrial furniture is presented. The goal is to provide high-speed data exchange and flexible power supply. The design features a flush-mounted design with heat dissipation and vibration-resistant mounting. Functionally, it supports SuperSpeed up to 5 Gbps and 5-9 V power profiles. The module's manufacturability, assembly flow, and readiness for pilot production are highlighted.

Keywords: Built-in module, flush-mounted module, USB ports, data transfer, charger

УДК 621.3

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДВУХСЛОЙНОГО ПРОСВЕТЛЯЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ Al_2O_3/MgF_2 НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

Макарцов И.О.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Аваков С.М. – д-р техн. наук, доцент, доцент кафедры ЭТТ

Аннотация. В работе исследовано влияние двухслойного просветляющего покрытия Al_2O_3/MgF_2 на шероховатость поверхности оптических деталей. Показано, что нанесение покрытия сопровождается увеличением параметров шероховатости поверхности и среднеквадратического отклонения, причем величина изменения зависит от исходного качества полировки образца. Полученные результаты свидетельствуют о существенной роли исходного состояния поверхности в формировании конечного микрорельефа покрытия Al_2O_3/MgF_2.

Ключевые слова. двухслойное просветляющее покрытие, оксид алюминия, фторид магния, шероховатость поверхности, микрорельеф, тонкие пленки, оптические детали, интерферометрия, кварцевые свидетели, электронно-лучевое испарение.

Введение. В связи с развитием проецирующих систем для оборудования микроэлектронной промышленности в направлении сокращения длины волны излучения предъявляются все более высокие требования к прецизионной оптике с низким уровнем рассеяния в УФ- и ГУФ-диапазонах. Шероховатость поверхности оптических деталей рассматривается как один из факторов, вызывающих рассеяние света [1]. Для оптических систем, работающих в ГУФ-диапазоне, даже незначительное рассеяние может приводить к снижению контраста изображения и появлению паразитных засветок, что особенно существенно при формировании топологических элементов субмикронного размера.

Материалы Al_2O_3 и MgF_2 применяются для формирования просветляющих покрытий, используемых в прецизионной оптике, в том числе для ультрафиолетового диапазона. Для нанесения данных материалов часто используется метод электронно-лучевого испарения, применяемый для получения многослойных оптических систем. Слой Al_2O_3 обладает более высокой плотностью и подвижностью адатомов, может способствовать частичному сглаживанию микрорельефа подложки и снижению исходной шероховатости [2]. В то же время слой MgF_2, обеспечивающий низкий показатель преломления, при температуре подложки порядка 494 К может формироваться с частично выраженной столбчатой морфологией, что, согласно литературным данным, может приводить к увеличению микронеровностей поверхности и изменению эффективного показателя преломления [3, 4]. По экспериментальным данным может наблюдаться изменение состояния поверхности, влияющее на интерференционные условия, заложенные при проектировании покрытия. Целью работы является исследование изменения микрорельефа поверхности кварцевых деталей после нанесения двухслойного покрытия Al_2O_3/MgF_2.

Основная часть. В эксперименте были использованы: *sv*1 – образец с механически отполированной поверхностью; *sv*2 – образец с механически отполированной поверхностью, дополнительно обработанный ионным пучком. Двухслойное просветляющее покрытие нанесено на установке электронно-лучевого испарения при температуре подложки 494 К. Параметры режима напыления были выбраны для достижения приемлемого коэффициента пропускания образцов на уровне 99%.

Для оценки влияния нанесения просветляющего покрытия Al_2O_3/MgF_2 на морфологию поверхности образцов был выполнен интерферометрический и профилометрический контроль образцов (рисунок 1) до и после напыления. Анализ проводился по параметрам:

среднеквадратическое отклонение (*RMS*), среднее арифметическое отклонение профиля (R_a) и максимальную высоту неровностей профиля (*PV*) (таблица 1).

В первую очередь рассмотрим изменения параметров поверхности для образца sv2, обладающего прецизионным качеством обработки. У образца *sv*2 значение *RMS* увеличилось с 2,06 нм до 3,17 нм. Среднее арифметическое отклонение профиля R_a изменилось с 0,33 нм до 0,37 нм. При этом параметр *PV* изменился незначительно. Это свидетельствует об отсутствии макродефектов напыления и указывает на то, что изменения происходят преимущественно на уровне микрошероховатости поверхности.

Наблюдаемое увеличение шероховатости может быть связано с особенностями формирования тонкопленочной структуры MgF_2 при вакуумном напылении. При температуре подложки порядка 494 К повышается подвижность атомов, что способствует уплотнению пленки, росту зерен и формированию кристаллитов [3, 4].

Таблица 1 – Измеренные параметры шероховатости поверхности до и после нанесения покрытия для двух образцов

	без покрытия		**с покрытием**	
свидетель	*sv*1	*sv*2	*sv*1	*sv*2
***RMS*, nm**	6,37	2,06	9,84	3,17
***PV*, nm**	49,09	59,59	54,15	61,95
R_a, nm	0,43	0,33	0,49	0,37

Согласно модели структурных зон, морфология пленок определяется соотношением T_s/T_m (где T_s – температура подложки, а T_m – температура плавления материала). В области $T_s/T_m \approx 0{,}3$, согласно модели, наблюдается переход от пористой структуры к более плотной, с формированием зерен [5]. Границы таких зерен формируют дополнительный микрорельеф поверхности, который накладывается на исходную шероховатость подложки, что приводит к увеличению параметров *RMS* и R_a.

Дополнительным фактором может являться многослойная структура покрытия. Использование материалов Al_2O_3 и MgF_2 с различными термомеханическими свойствами приводит к возникновению внутренних напряжений при охлаждении после напыления. Релаксация этих напряжений может вызывать микродеформации поверхностного слоя и увеличение высокочастотной составляющей микрорельефа [6].

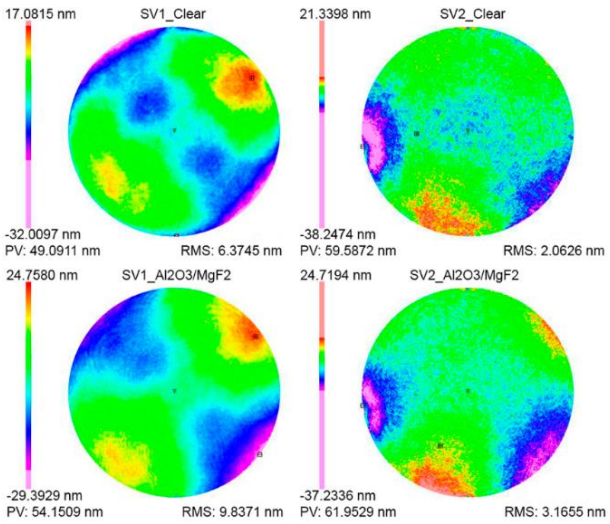


Рисунок 1 – Интерферограммы исследуемых образцов: *sv*1 – образец с механически отполированной поверхностью; *sv*2 – образец с механически отполированной поверхностью, дополнительно обработанный ионным пучком

Для оценки корректности полученных результатов было выполнено сравнение экспериментальных данных с литературными значениями шероховатости тонких пленок MgF_2, сформированных методами физического осаждения при близких температурных условиях (таблица 2).

Таблица 2 – Сравнение экспериментальных и литературных данных по шероховатости

Параметр	*sv*2 без покрытия	*sv*2 с покрытием	Литературные данные [7, 8]
RMS, nm	2,06	3,17	0,5 – 5,0
R_a, nm	0,33	0,37	0,4 – 1,0

Из таблицы 2 следует, что полученные значения параметров шероховатости находятся в диапазоне, сопоставимом с литературными данными [7, 8]. Следует отметить, что величина шероховатости в значительной степени определяется условиями формирования пленки, включая метод осаждения, температуру подложки и энергетические параметры процесса, в связи с чем наблюдается разброс значений. Отмечается, что значение параметра R_a после нанесения покрытия находится на нижней границе характерных значений, что может свидетельствовать о формировании относительно однородного поверхностного слоя.

Дополнительно был проведен сравнительный анализ образцов *sv*1 и *sv*2, отличающихся качеством исходной полировки поверхности. Результаты измерений показали, что для образца *sv*1 значение *RMS* увеличилось с 6,37 до 9,84 нм, тогда как для образца *sv*2 – с 2,06 до 3,17 нм. Абсолютный прирост *RMS* для *sv*1 составил 3,47 нм, что примерно в три раза превышает аналогичное значение для *sv*2, равное 1,11 нм. Аналогичная тенденция наблюдается и для параметра R_a: для *sv*1 он увеличился с 0,43 до 0,49 нм, а для *sv*2 – с 0,33 до 0,37 нм. Полученные результаты показывают воспроизводимость морфологии подложки. При повышенной исходной шероховатости возрастает неоднородность роста тонкой плёнки. Развитый микрорельеф поверхности создаёт условия для локального затенения и неравномерного осаждения материала, что может приводить к формированию менее однородной структуры покрытия.

Заключение. В ходе работы установлено, что нанесение двухслойного покрытия Al_2O_3/MgF_2 на предварительно подготовленную подложку сопровождается незначительным увеличением шероховатости поверхности, при этом для подложек с более низким качеством исходной полировки наблюдается более выраженный рост *RMS* и R_a, что указывает на определяющее влияние исходного состояния поверхности на формирование морфологии покрытия. Наблюдаемые изменения связаны с наследованием микрорельефа подложки, особенностями роста слоя MgF_2, и влиянием внутренних напряжений в многослойной системе. Для оптических систем, работающих в УФ- и ГУФ-диапазонах, шероховатость поверхности является ключевым параметром, поскольку с уменьшением длины волны вклад шероховатости в диффузионное рассеяние возрастает. Даже незначительные микронеровности приводят к снижению контраста изображения и появлению паразитной засветки [9]. Обеспечение низкой исходной шероховатости подложки и высокого качества её предварительной обработки является необходимым условием получения покрытий с требуемыми оптическими характеристиками в ГУФ-диапазоне.

Список литературы:

1. *Apostol, B. F. Scattering of the electromagnetic waves from a rough surface // Journal of Modern Optics. – 2012. – Vol. 59, No. 18. – P. 1607–1616. – DOI: 10.1080/09500340.2012.729617.*

2. *Denisov, D. G. Influence of substrate roughness on light scattering of optical coatings / D. G. Denisov, O. F. Prosovsky, Yu. O. Prosovsky // Proceedings of Bauman Moscow State Technical University. Series: Mechanical Engineering. – 2020. – № 4. – P. 82–90.*

3. *Gupta, R. Temperature-dependent optical and mechanical properties of MgF_2 thin films / R. Gupta, A. Sharma // Applied Surface Science. – 2015. – Vol. 357. – P. 160–166.*

4. *Zhang, X. Influences of oxygen ion beam on MgF_2 thin films / X. Zhang, Y. Li, H. Wang // Coatings. – 2019. – Vol. 9, № 12. – P. 834. – DOI: 10.3390/coatings9120834.*

5. *Thornton J. A. Influence of apparatus geometry and deposition conditions on the structure and topography of thick sputtered coatings / J. A. Thornton //* J. Vac. Sci. Technol. *– 1974. – Vol. 11, No. 4. – P. 666–670. DOI: 10.1116/1.1312732.*

6. *Abadias G., et al. Review Article: Stress in thin films and coatings: Current status, challenges, and prospects //* Journal of Vacuum Science & Technology A. *– 2018. – Vol. 36, No. 2. – Art. 020801. – DOI: 10.1116/1.5011790.*

7. *Ristau D., Günster S., Bosch S., et al. Ultraviolet optical and microstructural properties of MgF2 and LaF3 coatings deposited by ion-beam sputtering and boat and electron-beam evaporation // Applied Optics. – 2002. – Vol. 41, No. 16. – P. 3196–3204. – DOI: 10.1364/AO.41.003196.*

8. *Reuna J., et al. Influence of ex-situ annealing on the properties of MgF2 thin films deposited by electron beam evaporation // Optical Materials. – 2019. – Vol. 96. – 109326. – DOI: 10.1016/j.optmat.2019.109326.*

9. *Stover J. C. Optical scattering: measurement and analysis // Applied Optics. – 2014. – Vol. 53, No. 4. – P. A35–A45. – DOI: 10.1364/AO.53.000A35.*

UDC 621.3

ANALYSIS OF THE EFFECT OF A TWO-LAYER Al_2O_3/MgF_2 AR COATING ON THE SURFACE ROUGHNESS OF OPTICAL COMPONENTS

I.O. Makartsov

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

S.M. Avakov – Dr. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ETT

Annotation. This study investigated the effect of a two-layer Al_2O_3/MgF_2 antireflection coating on the surface roughness of optical components. It was shown that coating application is accompanied by an increase in surface roughness parameters and standard deviation, with the magnitude of the change depending on the initial polishing quality of the sample. The results demonstrate the significant role of the initial surface condition in shaping the final microrelief of the Al_2O_3/MgF_2 coating.

Keywords. dual-layer antireflection coating, aluminum oxide, magnesium fluoride, surface roughness, microrelief, thin films, optical components, interferometry, quartz crystals, electron beam evaporation.

УДК 621.3

НАНЕСЕНИЕ ДВУХСЛОЙНОГО ПРОСВЕТЛЯЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ Al_2O_3/MgF_2 МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО ИСПАРЕНИЯ С ИОННЫМ АССИСТИРОВАНИЕМ

Макарцов И.О.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

научный руководитель: Аваков С.М. – д-р техн. наук, доцент, доцент кафедры ЭТТ

Аннотация. В данной работе исследуется влияние ионного ассистирования (ИА) на оптические характеристики двухслойного покрытия Al_2O_3/MgF_2, полученного методом электронно-лучевого испарения. На основе анализа полученных спектральных зависимостей показано, что ионное воздействие приводит к выравниванию коэффициента отражения. Это позволяет стабилизировать показатель преломления материала и минимизировать пористость покрытия. Результаты подтверждают эффективность частичного использования ИА для создания прецизионных оптических систем с высокой спектральной стабильностью.

Ключевые слова. Ионное ассистирование, электронно-лучевое испарение, тонкие пленки, двухслойные покрытия, оптические покрытия, плотность покрытия, вакуумное напыление, коэффициент отражения, оксид алюминия, фторид магния.

Введение. В современной прецизионной оптике особое значение имеют просветляющие покрытия, обеспечивающие минимизацию отражения в заданном спектральном диапазоне и повышение светопропускания оптических элементов [1]. Такие покрытия востребованы в проецирующих системах для оборудования микроэлектронной промышленности, где даже небольшие потери на отражение могут существенно ухудшать рабочие характеристики системы, снижать контраст изображения и создавать паразитные засветки [2]. Для УФ- и ГУФ-диапазона, требования к качеству тонкопленочных покрытий особенно жесткие, поскольку здесь возрастает влияние дефектов структуры, остаточной пористости и отклонений толщины от расчетных значений [3].

Одной из технологий повышения качества тонких пленок является ионное ассистирование в процессе осаждения. Оно позволяет модифицировать морфологию пленки, повышать ее плотность, улучшать адгезию к подложке и снижать уровень пористости [4, 5]. В качестве материала просветляющей системы в диапазоне длин волн 200 – 400 нм часто используются двухслойные покрытия на основе оксида алюминия и фторида магния, поскольку комбинация Al_2O_3/MgF_2 позволяет формировать требуемое соотношение показателей преломления и получать коэффициент отражения в ультрафиолетовой области [6].

Целью данной работы является анализ влияния ионного ассистирования на оптические характеристики просветляющего покрытия Al_2O_3/MgF_2. В работе рассматриваются физические основы процесса, механизмы формирования пленок, а также сравнение расчетных и экспериментальных спектров отражения для вариантов без ассистирования и с ассистированием. Особое внимание уделяется положению волны просветления на длине 248 нм и связи полученных результатов с физикой происходящих процессов.

Основная часть. Ионное ассистирование представляет собой дополнительное воздействие ионного потока на растущую плёнку в процессе осаждения (рисунок 1). В ходе этого процесса поверхность формируемого слоя подвергается бомбардировке ионами инертных или реакционноспособных газов, что приводит к передаче энергии адатомам и изменению кинетики роста плёнки. В результате повышается подвижность частиц на поверхности, уменьшается пористость, увеличивается плотность и улучшается адгезия

покрытия к подложке. Кроме того, ионное воздействие способствует формированию более однородной структуры, снижению дефектности и улучшению оптических характеристик тонкоплёночных систем, что особенно важно для высокоточных оптических покрытий.

Для слоя Al_2O_3 такое воздействие особенно полезно, поскольку оксидные плёнки, сформированные без дополнительной энергии частиц, могут обладать рыхлой или колонковой структурой, обусловленной ограниченной подвижностью адатомов на поверхности [7, 8]. Ионное ассистирование способствует передаче дополнительной энергии в приповерхностный слой, что приводит к более плотной упаковке материала, снижению шероховатости и стабилизации оптических констант плёнки, а также позволяет наносить пленки при более низких температурах подложки [9, 10]. В результате изменяются как морфология слоя, так и его эффективная толщина и показатель преломления, которые становятся чувствительными к параметрам ионного воздействия [9–11]. Для плёнок Al_2O_3, полученных без ионного ассистирования и недостаточной энергии частиц, характерны повышенная пористость и менее упорядоченная структура, тогда как при включении ионного потока происходит уменьшение доли свободного объёма и формирование более компактной микроструктуры [7, 9]. Это особенно важно для просветляющих покрытий, работающих в УФ-диапазоне, поскольку в коротковолновой области даже незначительные изменения плотности и морфологии приводят к заметным изменениям спектральных характеристик [10, 11].

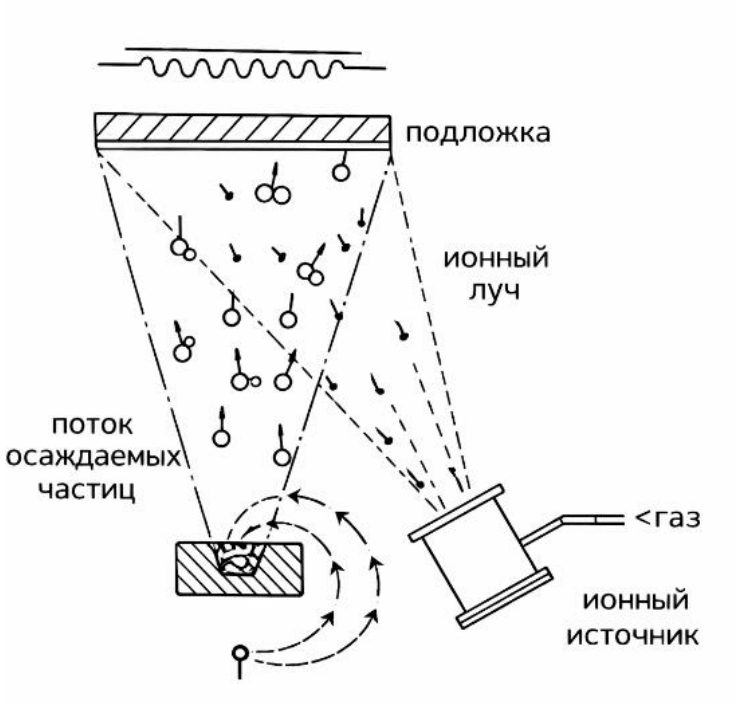


Рисунок 1 – Схема нанесения покрытия методом электронно-лучевого испарения с ионным ассистированием

На рисунке 2 представлена зависимость коэффициента отражения покрытия Al_2O_3/MgF_2 от режима осаждения. Пленки наносились при температуре подложки 494 К электронно-лучевым методом без ассистирования в одном случае и в другом с ассистированием ионами аргона слоя Al_2O_3. Физические толщины пленок были рассчитаны заранее и выдерживались во всех режимах осаждения. На рисунке видно различие полученных результатов с теоретическим расчетом.

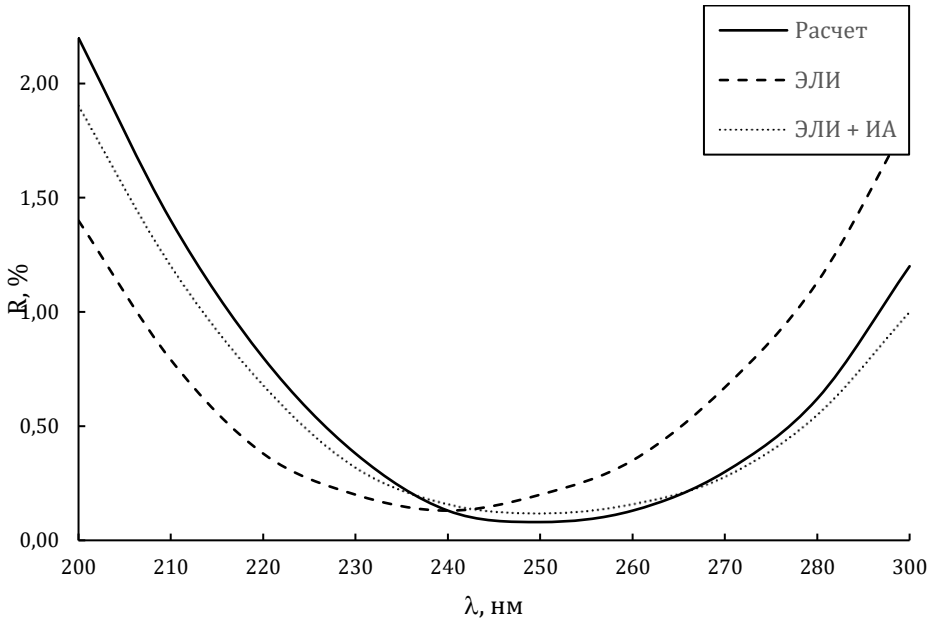


Рисунок 2 – Спектральная зависимость коэффициента отражения $R(\lambda)$ покрытия Al_2O_3/MgF_2, полученного методом электронно-лучевого испарения (ЭЛИ) и с ионным ассистированием (ЭЛИ + ИА), в сравнении с расчётным спектром

Полученные результаты показывают, что при ионном ассистировании спектральная зависимость коэффициента отражения покрытия Al_2O_3/MgF_2 в большей степени соответствует расчётной. При этом положение минимума отражения оказывается ближе к заданной длине волны, в частности к области 248 нм. Наблюдаемые особенности могут быть связаны с изменением структуры формируемого слоя Al_2O_3 под воздействием ионного потока, в том числе с уменьшением пористости и изменением эффективных оптических параметров, что отмечается в ряде работ.

Различия между образцами, полученными без ассистирования и с ионным ассистированием, проявляются в форме спектральной зависимости коэффициента отражения. Для покрытия без ассистирования наблюдается большее отклонение от расчётной кривой в фиолетовую сторону спектра, а также смещение минимума отражения, что может быть связано с более рыхлой структурой слоя и его чувствительностью к воздействию окружающей среды, включая влагу, абсорбированную после извлечения образца из камеры. При использовании ионного ассистирования экспериментальная зависимость оказывается ближе к расчётной, что также может быть обусловлено изменением плотности и морфологии плёнки.

Заключение. В работе проведено сравнение спектральной зависимости коэффициента отражения покрытий Al_2O_3/MgF_2, полученных методом электронно-лучевого испарения при различных режимах осаждения, с результатами теоретического расчёта. Показано, что применение ионного ассистирования при формировании слоя Al_2O_3 приводит к лучшему совпадению экспериментальной зависимости $R(\lambda)$ с расчётной, а также к стабилизации положения минимума отражения вблизи заданной длины волны. Наблюдаемые различия между покрытиями, полученными с и без ионного ассистирования связаны с изменением условий формирования слоя и его эффективных оптических параметров. Полученные результаты согласуются с представлениями о влиянии дополнительного энергетического воздействия на процессы роста тонких плёнок.

Для задач прецизионной оптики в УФ- и ГУФ-диапазоне, важное значение имеют стабильность параметров покрытия и согласование экспериментальных характеристик с расчётными. Ионное ассистирование может быть использовано как один из способов повышения воспроизводимости свойств покрытий и приближения их оптических характеристик к заданным значениям.

Список литературы:

1. *H. K. Raut, V. A. Ganesh, A. S. Nair, S. Ramakrishna, "Anti-reflective coatings: A critical, in-depth review," Energy Environ. Sci. (2011). DOI: 10.1039/C1EE01297E.*
2. *L. E. Busse et al., "Review of antireflective surface structures on laser optics and windows," Appl. Opt. 54, F303–F310 (2015). DOI: 10.1364/AO.54.00F303.*
3. *W. Bogaerts et al., "Fabrication of photonic crystals in silicon-on-insulator using 248-nm deep UV lithography," IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron. 8(4), 928–934 (2002). DOI: 10.1109/JSTQE.2002.800845.*
4. *John R. McNeil, Alan C. Barron, S. R. Wilson, W. C. Herrmann, "Ion-assisted deposition of optical thin films: low energy vs high energy bombardment," Applied Optics 23(4), 552–559 (1984). DOI: 10.1364/AO.23.000552.*
5. *Michael Nastasi, James Mayer, James K. Hirvonen, "Ion beam assisted deposition," in Ion-Solid Interactions: Fundamentals and Applications (1996). DOI: 10.1017/CBO9780511565007.014.*
6. *Konstanty Marszałek, Paweł Winkowski, Marta Marszałek, "Antireflective bilayer coatings based on Al2O3 film for UV region," Materials Science-Poland 33(1), 6–10 (2015). DOI: 10.1515/msp-2015-0011.*
7. *O. Zywitzki et al., Surface and Coatings Technology 151–152 (2002) 14–20. DOI: 10.1016/S0257-8972(01)01632-2*
8. *J. A. Thornton, "Influence of apparatus geometry and deposition conditions on the structure and topography of thick sputtered coatings," J. Vac. Sci. Technol. 11 (1974). DOI: 10.1116/1.1312732*
9. *M. S. Al-Robaee et al., Journal of Materials Research 9(10) (1994). DOI: 10.1557/JMR.1994.2688.*
10. *J. R. McNeil et al., Applied Optics 23(4) (1984). DOI: 10.1364/AO.23.000552.*
11. *J. R. Nightingale et al., MRS Proc. 983 (2007). DOI: 10.1557/PROC-983-0983-LL05-01.*

UDC 621.3

DEPOSITION OF Al_2O_3/MgF_2 BILAYER ANTIREFLECTION COATING BY ION-ASSISTED ELECTRON-BEAM EVAPORATION

I.O. Makartsov

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

scientific supervisor: S.M. Avakov – Dr. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ETT

Annotation. This paper examines the effect of ion-assisted coating (IA) on the optical properties of a bilayer Al_2O_3/MgF_2 coating produced by electron beam evaporation. Analysis of the resulting spectral dependences demonstrates that ion-assisted coating leads to a leveling of the reflectivity. This stabilizes the refractive index of the material and minimizes coating porosity. The results confirm the effectiveness of using partial IA for creating precision optical systems with high spectral stability.

Keywords. Ion-assisted deposition, electron-beam evaporation, thin films, bilayer coatings, optical coatings, coating density, vacuum deposition, reflectance, aluminum oxide, magnesium fluoride.

УДК 621.793.18

ФОРМИРОВАНИЕ ФТОРУГЛЕРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ, ЛЕГИРОВАННЫХ АЗОТОМ

Потылкин А.Н.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники[1]
г. Минск, Республика Беларусь

Телеш Е.В. – ст. преподаватель кафедры ЭТТ

Аннотация. Исследовано влияние парциального давления азота на скорость нанесения и характеристики фторуглеродных покрытий. Установлено, что увеличение доли азота способствовало снижению скорости нанесения, оптического пропускания в видимом диапазоне и коэффициента трения фторуглеродных покрытий, что можно связать с заменой химических связей C–F на C–N.

Ключевые слова. фторуглеродные покрытия, реактивное ионно-лучевое распыление, давление азота, скорость нанесения, оптические характеристики, трибологические характеристики

Введение. Фторуглеродные покрытия нашли широкое применение в микроэлектронике, микроэлектромеханических системах и других областях техники, как активные, так обычные диэлектрические и защитные покрытия. Фторуглеродные тонкопленочные покрытия применяются в качестве материалов оптических покрытий с низким коэффициентом преломления, гидрофобных, антифрикционных, защитных, химически стойких покрытий [1,2]. Фторированный аморфный углерод (a-C:F), диэлектрическая проницаемость которого составляет около 2,4, является одним из перспективных материалов для межслойных диэлектриков [3]. Существенным недостатком фторуглеродных покрытий является их низкая (473 К) термостойкость из-за улетучивания фтора при нагреве. Для увеличения термостойкости применяется легирование фторуглеродных покрытий азотом и углеродом с целью формирования устойчивых к температуре связей C–N и C–C. В работе [4] фторуглеродные покрытия были осаждены методом химического осаждения из газовой фазы с использованием плазмы. В качестве исходных газов использовались CH_4, CF_4 и N_2. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (XPS) показала, что в пленках с добавлением N_2 образуются связи C–N. Диэлектрическая постоянная пленок увеличилась с 2,1 до 2,4 при концентрации азота 10 %.

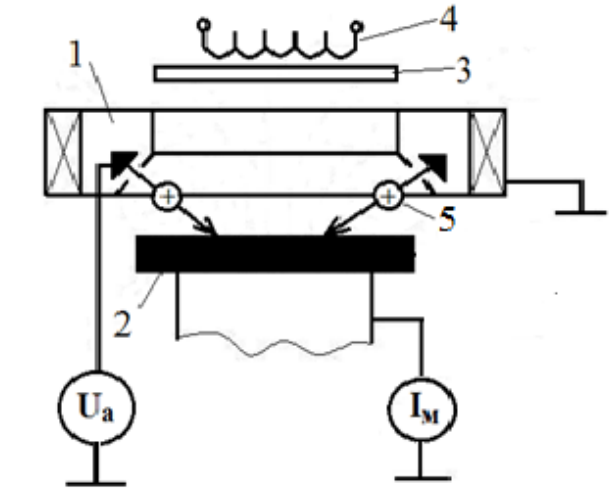
Реактивное ионное распыление применяют для нанесения пленок химических соединений (оксидов, нитридов, карбидов, боридов, силицидов, фторидов). Требуемое химическое соединение получают, подбирая материал распыляемой мишени и рабочий газ. При реактивном распылении сплавов или многокомпонентных систем можно получать пленки тройных соединений. Реактивное распыление используется для получения тонких пленок таких соединений, которые трудно или невозможно нанести другими способами.

Для нанесения фторуглеродных покрытий автор применял реактивное ионно-лучевое распыление мишени из графита [5]. Результаты измерений трибологических и оптических характеристик фторуглеродных покрытий, полученных распылением в чистом фреоне представлены в работах [6], [7].

Метод реактивного распыления с помощью ионных источников характеризуется принципиальной простотой и высокой степенью контроля условий роста пленки. В нем энергия и состав частиц, бомбардирующих поверхность мишени, заданы режимом работы ионного источника, что позволяет менять параметры процессов распыления мишени и роста пленки независимо друг от друга и выявлять их закономерности. Метод реактивного ионно-лучевого синтеза тонких пленок с использованием пучков ионов химически активных газов

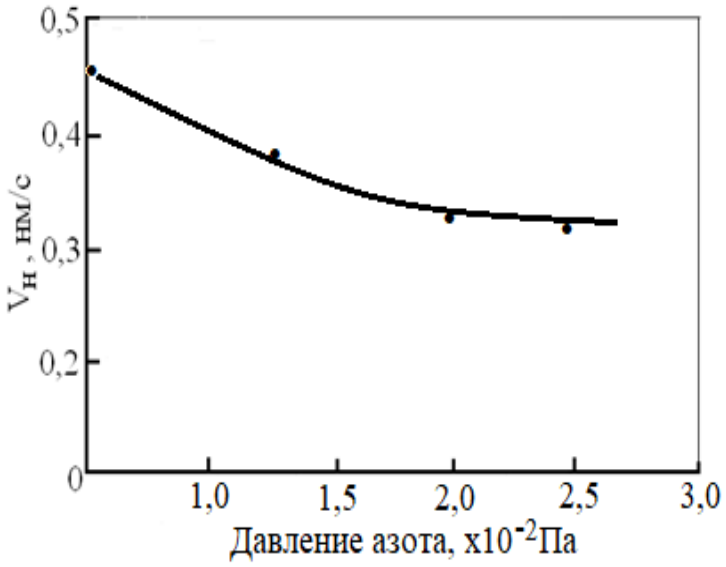
является одним из перспективных методов нанесения. Для управления электрофизическими, оптическими и механическими свойствами формируемых слоев необходимо изменять энергию, величину и состав потока осаждаемых частиц. В данной работе было проведено исследование влияния парциального давления азота в рабочем газе на скорость нанесения, оптические и трибологические характеристики CFN-покрытий.

Основная часть. Нанесение фторуглеродных покрытий осуществляли путём реактивного ионно-лучевого распыления мишени из уплотненного графита АВР ТУ-48-20-86-76 на модернизированной установке вакуумного напыления УРМ 3.279.017. Условная схема установки для нанесения покрытий представлена на рисунке 1, а. Напуск газов в вакуумную камеру осуществлялся игольчатыми натекателями. Контроль вакуума осуществлялся вакуумметром ВИТ-2. Мишень представляла собой диск диаметром 70 мм и толщиной 8 мм. Остаточный вакуум составлял $2{,}3\cdot10^{-3}$ Па. Рабочими газами служили азот и фреон-218 (C_3F_8). Покрытия формировались на подложках из кремния и стекла К8. Ускоряющее напряжение составляло 3 кВ, ток мишени 60 – 75 мА. Температура подложки не превышала 313 – 323 К. Толщина покрытий определялась с помощью микроскопа МИИ-4. На рисунке 1, б приведен график зависимости скорости нанесения $V_н$ от парциального давления азота. Скорость нанесения монотонно снижалась, в первую очередь это связано со снижением интенсивности процессов полимеризации, а также с уменьшением суммарного коэффициента распыления.



1 – ионный источник; 2 – мишень из графита; 3 – подложка; 4 – нагреватель; 5 – ионные пучки азота и фреона

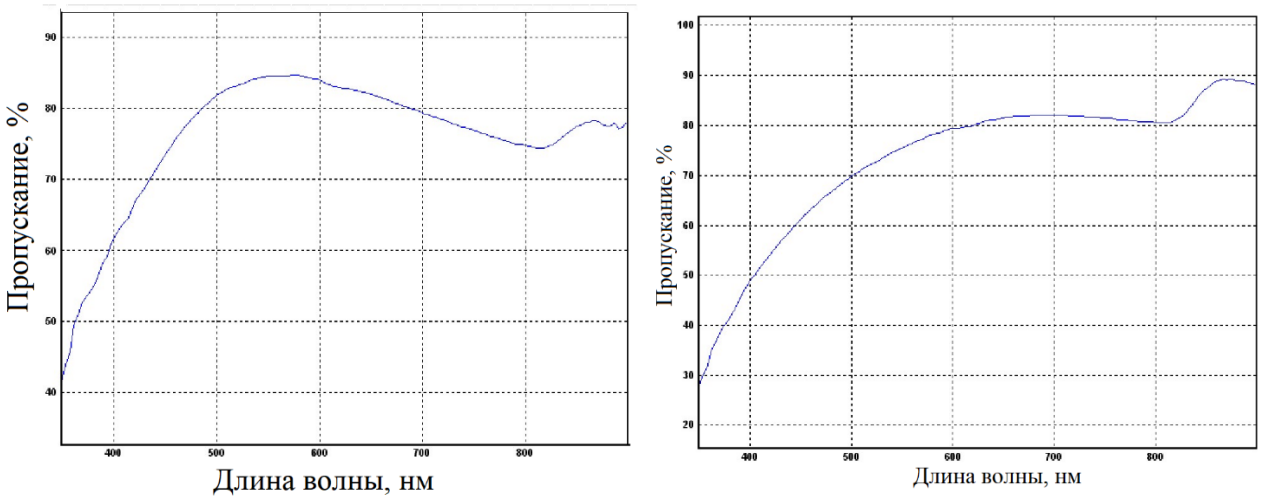
а



б

Рисунок 1 – Схема реактивного ионно-лучевого формирования фторуглеродных покрытий (а) и зависимость скорости нанесения от парциального давления азота (б)

Исследование оптических характеристик (коэффициенты пропускания и отражения) покрытий, нанесенных на подложки из стекла К8, осуществлялось в диапазоне 380–900 нм с помощью спектрофотометра PROSCAN. На рисунке 2, а приведен спектр пропускания фторуглеродных покрытий, полученных распылением в чистом фреоне. На рисунке 2, б – спектр пропускания фторуглеродных покрытий, полученных при парциальном давлении азота $2{,}66\cdot10^{-2}$ Па. Наблюдалось значительное снижение пропускания в видимой области спектра и рост – в инфракрасной.

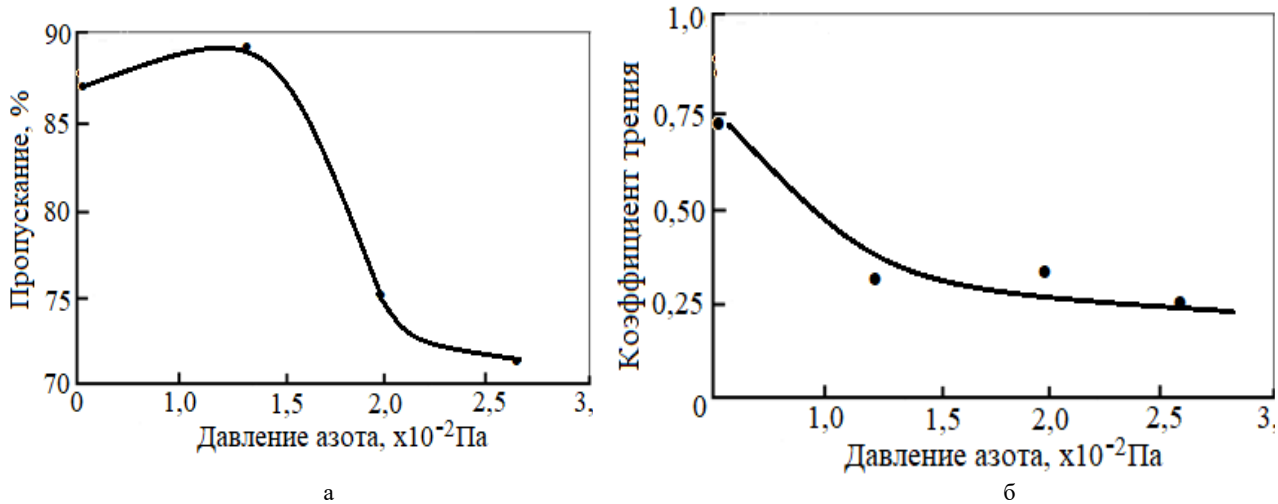


а б

Рисунок 2 – Спектры пропускания при распылении в чистом фреоне (а) и при парциальном давлении азота $2{,}66 \cdot 10^{-2}$ Па (б)

На рисунке 3, а приведена зависимость величины пропускания на $\lambda = 555$ нм от давления азота. Установлено, что увеличение доли азота вначале способствовало некоторому росту оптического пропускания фторуглеродных покрытий до 88 %, однако дальнейшее повышение давления азота привело к снижению пропускания до 72 %, что можно связать с заменой химических связей C–F на C–N.

Коэффициент трения измерялся с помощью трибометра МТ-25 возвратно-поступательного типа. В качестве индентора применяли шарик из стали ШХ15 диаметром 4 мм. Нагрузка в условиях сухого трения составляла 0,15 Н, скорость перемещения индентора 4–7 мм/с, количество циклов истирания 300…500. На рисунке 3, б приведена зависимость величины коэффициента трения от парциального давления азота. Установлено, что увеличение доли азота в рабочем газе способствовало снижению коэффициента трения фторуглеродных покрытий почти в три раза, что можно также связать с заменой химических связей в покрытии с C–F на C–N. Т.к. нитрид углерода обладает высокой износостойкостью и устойчивостью к царапанию, то и полученные CFN-покрытия демонстрируют более высокие трибологические характеристики. Кроме того, связь C–N обладает значительно лучшей термостойкостью, чем связи C–C и C–F.



а б

Рисунок 3 – Зависимость оптического пропускания на $\lambda = 555$ нм (а) и коэффициента трения (б) от парциального давления азота

Заключение. Проведенные исследования позволили определить влияние давления азота на скорость нанесения и характеристики фторуглеродных покрытий. Увеличение доли азота

способствовало снижению скорости нанесения, оптического пропускания в видимой области спектра и коэффициента трения фторуглеродных покрытий, что можно связать с заменой химических связей C–F на C–N.

Список литературы:

1. *Лучников, А.П. Микроструктура и электрофизические свойства фторполимерных пленок для МЭМС и наноэлектроники / А.П. Лучников, П.А. Лучников, А.С. Сигов// Нано- и микросистемная техника – 2007.– №12(89). – С. 34 – 40.*

2. *Drabik, M. Super-hydrophobic coatings prepared by RF magnetron sputtering of PTFE/M. Drabik et al.//Plasma Processes Polym. – 2010. –Vol.7. – P. 544 – 551.*

3. *Murarka, S.P. Low dielectric constant materials for interlayer dielectric application/ S.P. Murarka //Solid State Technology. – 1996. – №3. – P. 83 – 89.*

4. *Endo, K. Nitrogen doped fluorinated amorphous carbon thin films grown by plasma enhanced chemical vapor deposition for low dielectric constant interlayer dielectrics /K. Endo, T. Tatsumi // Appl. Phys. Lett. – 1996. – V.68. – P. 3656 – 3658.*

5. *Телеш, Е.В. Формирование фторуглеродных покрытий реактивным ионно-лучевым распылением мишени из графита /Е.В. Телеш, А.Н. Потылкин // Актуальные проблемы физики, электроники и энергетики [Электронный ресурс] : электронный сборник статей I международной научно-практической конференции, Новополоцк, 27 – 28 окт. 2022 г. / Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой. – Новополоцк, 2023. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – С. 157 – 161.*

6. *Потылкин, А.Н. Электрофизические и трибологические характеристики фторуглеродных покрытий, полученных реактивным ионно-лучевым распылением графита /А.Н. Потылкин, Е.Г., науч. рук. Е.В. Телеш // Физика конденсированного состояния [Электронный ресурс] : материалы XXXII междунар. науч.-практ. конф. аспир., магистр. и студ. (Гродно, 4–5 апр. 2024 г.) / ГрГУ им. Янки Купалы, физ.-техн. фак. ; редкол.: Г. А. Гачко (гл. ред.), О. А. Жарнова (зам. гл. ред.) [и др.]. –Объём электрон. дан. 11,9 Мбайт. – Гродно: ГрГУ, 2024. – С. 69 – 71.*

7. *Потылкин, А.Н. Оптические и механические характеристики фторуглеродных покрытий, полученных реактивным ионно-лучевым распылением мишени из графита/ А.Н. Потылкин, науч. рук. Е.В. Телеш // Электронные системы и технологии: сборник материалов 59-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования БГУИР. – С. 531 –533.*

UDC 621.793.18

FORMATION OF NITROGEN-ALLOYED FLUOROCARBON COATINGS

Potylkin A.N.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics[1], Minsk, Republic of Belarus

Telesh E.V. – Senior Lecturer of the Department of ETT

Annotation. The effect of nitrogen partial pressure on the deposition rate and performance of fluorocarbon coatings was studied. It was found that increasing the nitrogen fraction resulted in a decrease in the deposition rate, visible optical transmittance, and friction coefficient of the fluorocarbon coatings, which can be attributed to the replacement of C–F chemical bonds with C–N.

Keywords. Fluorocarbon coatings, reactive ion beam sputtering, nitrogen pressure, deposition rate, optical properties, tribological properties.

УДК 537.533.35

ОКНО В НАНОМИР

Ляшко М.С., Гурина Т.Д.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Шахлевич Г.М. – к. ф.-м. н., доцент, доцент кафедры ЭТТ

Аннотация. Рассматриваются виды микроскопии высокого разрешения, такие как сканирующая электронная, сканирующая туннельная и атомно-силовая, и исследования, в которых они сыграли решающую роль. Анализируются перспективы их применения при исследовании наноматериалов.

Ключевые слова: наноматериалы и структуры, методы получения, диагностики, визуализации, анализ поверхности, субнанометровое разрешение, зондирующий пучок, СЭМ, СТМ, АСМ.

Введение. В настоящий момент наука и техника столкнулись с новой областью исследований и анализа – наноразмерные материалы. Их свойства являются ценным ресурсом в медицине, электронике, промышленности, экологии и др. Структура мирового потребления наноматериалов и их влияние каждой из отраслей растет с каждым днем. При работе с наноразмерными объектами важнейшее значение имеют средства их получения, анализа структуры, состава и характеристик.

Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) – метод исследования поверхности объектов с высоким разрешением, позволяющий производить подробный анализ материалов, наиболее распространенный в науке и инженерии. Благодаря высокому разрешению и широкому диапазону увеличений, СЭМ стала незаменимым инструментом в наноэлектронике, материаловедении, биологии, геологии, медицине и даже судебной экспертизе.

Универсальность СЭМ заключается в использовании пучка электронов (рисунок 1). Из электронной пушки ускоренные полем электроны перемещаются в оптическую колонну, где пучок фокусируется электромагнитными линзами. В колонне поддерживается глубокий вакуум. Расположенные после линз катушки сканирования обеспечивают перемещение пучка по исследуемой области образца. Отраженные от поверхности образца электроны попадают в систему детектирования и формируют ее изображение [1].

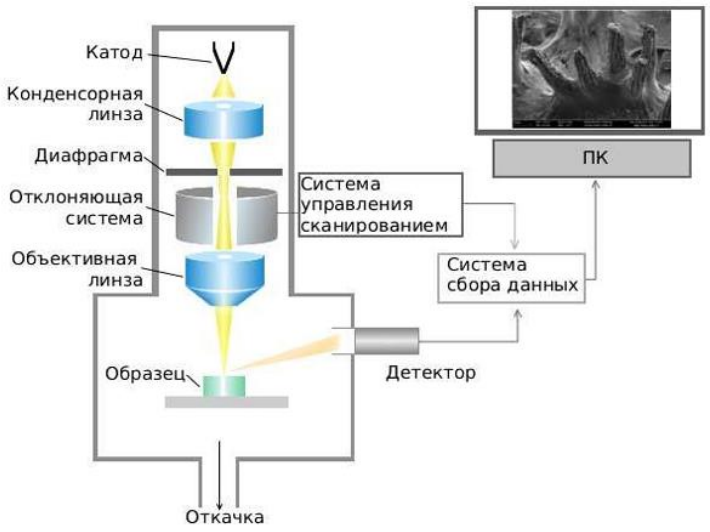


Рисунок 1 – Принципиальная схема СЭМ

Примером использования СЭМ является достижения в области изучения одностенных углеродных нанотрубок (ОУНТ) учеными Сколтеха. Будучи аллотропной модификацией

углерода, они представляют собой полые цилиндрические структуры диаметром 0,1-50 нм длиной от 1 мкм до нескольких сантиметров. ОУНТ – предмет активного исследования, благодаря таким свойствам, как высокая прочность, огне- и износостойкость и др.

Благодаря усовершенствованию методов микроскопии получение ОУНТ стало эффективнее в 3 раза без потери качества. Метод СЭМ был решающим для визуализации результатов синтеза, контроля качества и верификации теории. Также, в ходе экспериментов ученые обнаружили, что при концентрации водорода ≈ 10 об. %) производительность синтеза выросла в 15 раз, также без ухудшения свойств нанотрубок. Детальное исследование термодинамики процесса и анализ с помощью СЭМ позволили не только зафиксировать этот результат, но и раскрыть принципиальные механизмы роста нанотрубок, что важно для понимания процесса CVD-синтеза в целом (рисунок 2) [4]. Важным аспектом применения СЭМ является необходимость электропроводности образца. Для диэлектриков требуется напыление тонкого слоя металла, что иногда приводит к маскировке структур клеточной оболочки и делает невозможным наблюдение живых клеток (в отличие от АСМ).



Рисунок 2 – СЭМ-изображение вертикально выровненных массивов углеродных нанотрубок. Черные пятна сверху - аморфный углерод

С использованием СЭМ проводится также анализ флуоресцентных характеристик, электронное распределение, дефектов структуры и др.

Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ) – впервые позволила наблюдать отдельные атомы на поверхности. Классическими примерами являются изображения распределения атомов высокоориентированного графита и структуры кремния Si (111) - (7×7), полученные с помощью сверхвысоковакуумных микроскопов. СТМ основан на эффекте туннелирования, пьезоэлектрический эффекте и др.

Туннельный эффект – квантовомеханическое явление прохождения частицы через потенциальный барьер с высотой, превышающей её энергию. В СТМ за счет его создается контролируемый электрический ток, величина которого экспоненциально зависит от расстояния между зондом (острой металлической иглой) и образцом. Ширины туннельного перехода определяется расстоянием между зондом и образцом. Это позволяет отслеживать неровности поверхности, строить ее изображение с атомарным разрешением (рисунок 3).

Пьезоэлектрический эффект – возникновение электрического заряда при деформировании пьезоматериалов (прямой эффект), или же деформирование их структуры под действием заряда (обратный эффект). В СТМ на этом эффекте основан принцип действия измерительной части устройства, обеспечивающей атомарные разрешения, что открывает возможности тонкого взаимодействия с наноструктурами [6].

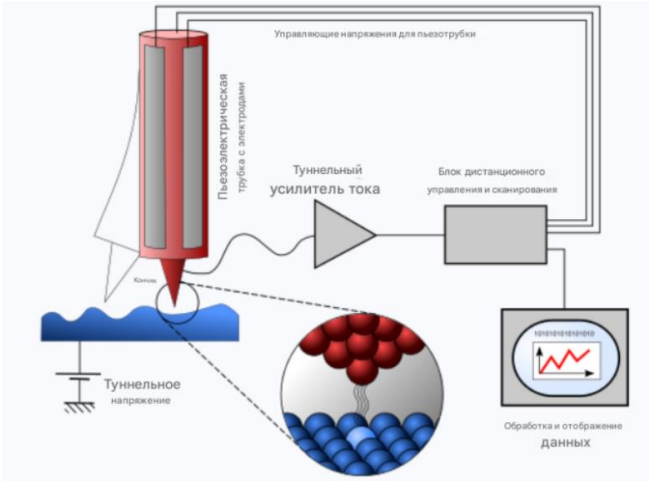


Рисунок 3 – Принципиальная схема СТМ

Метод СТМ один из важнейших при поиске новых наноматериалов, что подтверждается на примере синтеза и исследований двумерных борных наноматериалов. Эти двумерные кристаллы стали настоящим открытием: их прочность, гибкость и эластичность, а также уникальные электронные свойства, стали основой создания батарей для хранения водорода и каталитических реакций. Так, борофен способен удерживать массу водорода, равную 15% от собственной, что делает его перспективным для водородной энергетики. Однако сложность в визуализации и нестабильность материала усложняли изучение материала. Ошибочно считалось, что при осаждении бора на поверхность меди образуется полиморфная модификация борофена. Для определения структуры и свойств атомарно тонких фаз бора был использован СТМ с атомарным разрешением. Это позволило идентифицировать уникальную зигзагообразную структуру Cu_8B_{14} и измерить ее электронные свойства (рисунок 4). Важным доказательством стали два фактора: зигзагообразный узор решетки с характерными линейными дефектами, зафиксированный с разрешением менее 0,1 нм и данные спектроскопии (СТС), показавшие, что работа выхода электронов у пленки ниже, чем у чистой меди, что идеально совпало с расчетами для соединения Cu_8B_{14}. Это доказало, что синтезирован не борофен, а новое соединение. Без СТМ открытие было бы невозможным.

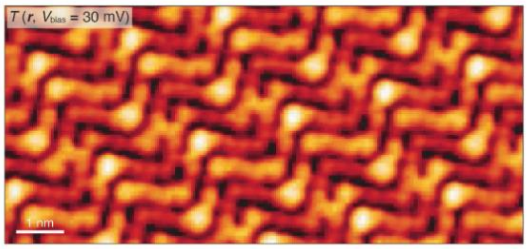


Рисунок 4 – Изображение STM с атомным разрешением

СТМ применяется для получения топографии и электрических свойств поверхностей, визуализации атомных узлов. Разработка наноустройств, исследование кристаллических решеток, наноразмерных проводников и наномагнетиков являются задачами СТМ.

Атомно-силовая микроскопия (АСМ) позволяет получать изображения поверхности с субнанометровым разрешением и объединяет ряд методик неразрушающей диагностики. АСМ открывает возможности для изучения биологических объектов, полимеров и диэлектриков, анализ которых затруднён или невозможен при электронной микроскопии.

В основе работы АСМ лежит регистрация сил межатомного взаимодействия. Дальнодействующие силы Ван-дер-Ваальса и короткодействующие силы отталкивания, обусловленные перекрытием электронных оболочек атомов острия зонда и атомом

поверхности формируют результирующую силу, которая вызывает изгиб упругой консоли зонда (рисунок 5), по величине которого строят точное изображение рельефа поверхности [5].

Главным преимуществом АСМ перед СЭМ и СТМ является отсутствие необходимости в электропроводящем покрытии образца. Это позволяет исследовать живые клетки и биологические объекты в их естественном состоянии без повреждения. Кроме того, АСМ даёт возможность визуализировать отдельные молекулярные структуры, например, с использованием нанодатчиков с иммобилизованными ферментами.

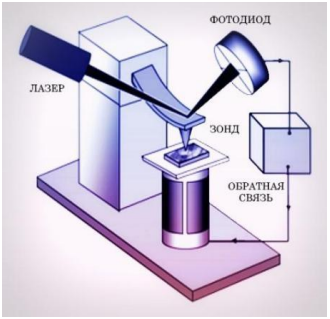


Рисунок 5 – Схема атомно-силового микроскопа и изображения модифицированных зондов для исследования поверхности [5]

Примером практического применения АСМ служит исследование наноструктуры магнетита. Была выдвинута гипотеза о том, что варьирование времени синтеза плёнки полидофамина (PDA) влияет на её химический состав, шероховатость и способность удерживать наночастицы. Природа наблюдаемых зернистых структур оставалась неясной. В эксперименте плёнки PDA формировали окислением дофамина в щелочном растворе, после чего образцы погружали в водную дисперсию наночастиц магнетита. АСМ позволила установить, что количество адсорбированных частиц растёт с увеличением времени синтеза нелинейно. Контрольный эксперимент на чистом золоте показал отсутствие адсорбции, подтвердив ключевую роль PDA-плёнки (рисунок 6). АСМ позволил визуализировать распределение частиц и количественно оценить морфологию поверхности: среднюю высоту структур и параметры шероховатости (Ra и Rq) до и после осаждения [8].

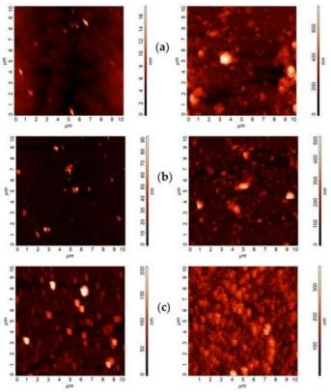


Рисунок 6 - АСМ-изображения PDA/AU [8]

При использовании АСМ ученые проводят измерения межмолекулярных сил, построение трёхмерных карт рельефа, а также исследования гидрогелей и биоматериалов. Основными задачами метода являются анализ биологических макромолекул, изучение наноструктур, разработка наноустройств, биомедицинские исследования и моделирование наномеханических процессов. С помощью АСМ разрабатываются наноиглы из углеродных нанотрубок для внутриклеточных манипуляций и адресной доставки молекул (ДНК, РНК, квантовых точек) без повреждения клеточной мембраны. Метод также позволяет

визуализировать отдельные полимерные цепи (например, полиэтилен или ДНК на подложках из слюды и графита) и изучать деформацию полимерных плёнок под нагрузкой.

Заключение. Все три метода – СЭМ, СТМ и АСМ – являются неотъемлемыми инструментами современного наномира. Это ключевые методы визуализации и анализа в нанотехнологиях, позволяющие учёным и инженерам на атомарном и нанометровом уровне исследовать структуру, состав и свойства наноматериалов и устройств. Их использование важно для разработки новых материалов, совершенствования технологий и расширения границ наномира, что способствует прогрессу в электронике, медицине, материаловедении и других науках. Биотехнологии позволяют специалистам изучение биомолекул, наноразмерных биосенсоров.

Список литературы

1. *Исследование наноматериалов методами сканирующей электронной микроскопии: учебно-методический комплекс дисциплины [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/1548/2/1334959_methodinst.pdf. Дата доступа: 24.03.2026.*

2. *Сакович, К. О. Использование сканирующей электронной микроскопии для изучения нанопористых структур / К. О. Сакович [Электронный ресурс]. Минск: БГУИР, 2024. Режим доступа: https://libeldoc.bsuir.by/bitstream/123456789/60422/1/Sakovich_Ispolzovanie.pdf. Дата доступа: 24.03.2026.*

3. *Электронная микроскопия: лабораторные работы. Санкт-Петербург: СПбГУ, [б.г.].*

4. *Синтез углеродных нанотрубок стал в три раза эффективнее [Электронный ресурс] // Naked Science. 2024. Режим доступа: https://naked-science.ru/article/column/sintetri-raza-effektivnee. Дата доступа: 24.03.2026.*

5. *Atomic Force Microscope: an overview [Электронный ресурс] // ScienceDirect Topics. Elsevier, [б.г.]. Режим доступа: https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/atomic-force-microscope. Дата доступа: 24.03.2026.*

6. *Низовцова, А. А. Туннельный микроскоп / А. А. Низовцова [Электронный ресурс]. Минск: БГУИР, 2024. Режим доступа: https://libeldoc.bsuir.by/bitstream/123456789/57170/1/Nizovcova_Tunnel%27nyj.pdf. Дата доступа: 24.03.2026.*

7. *Многофункциональный сканирующий зондовый микроскоп SSM-310 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.itmo.by/engineering/developments/mnogofunktsionalnyy-skaniruyushchiy-zondovyy-mikroskop-ssm-310/. Дата доступа: 24.03.2026.*

8. *Поглощение наночастиц магнетита на полидофаминовых пленках, отложенных на поверхностях золота: исследование AFM и XPS // Nanomaterials. 2024. Т. 14, № 21. С. 1699. http://dx.doi.org/10.3390/nano14211699..*

UDC 537.533.35

THE WINDOW TO THE NANOMIR

Lyashko M.S., Gurina T.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Scientific supervisor: Shakhlevich G.M. – Cand. of Sci, Associate Professor of the Department of Electronic Engineering and Technology

Annotation. This article discusses types of microscopy such as scanning electron microscopy, scanning tunneling microscopy, and atomic force microscopy, and the studies in which they have played a crucial role. The prospects of using new microscopy methods in the field of nanomaterial research are analyzed.

Keywords: nanomaterials, nanotechnology, nanoscale structures, diagnostic methods, visualization, surface analysis, high resolution, subnanometer resolution, probe beam, SEM, STM, AFM.

УДК 621.793.18

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА РАБОЧЕГО ГАЗА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ФТОРУГЛЕРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРЯМЫМ ОСАЖДЕНИЕМ ИЗ ИОННЫХ ПУЧКОВ

Курбако Е.Г.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Телеш Е.В. – ст. преподаватель кафедры ЭТТ

Аннотация. Исследовано влияние состава рабочего газа на характеристики фторуглеродных покрытий. Установлено, что увеличение доли фреона способствовало росту оптического пропускания фторуглеродных покрытий, что можно связать с заменой химических связей C–C на C–F.

Ключевые слова: фторуглеродные покрытия, прямое осаждение, давление фреона, оптические характеристики, электрофизические характеристики, трибологические характеристики, микроструктура

Введение. Фторуглеродные покрытия применяются в материалах для low-k диэлектриков, оптических, гидрофобных, антифрикционных, биосовместимых, антимикробных, защитных, химически стойких покрытий и т.п. [1]. Для синтеза фторуглеродных покрытий наиболее часто применяются ВЧ плазмохимическое осаждение, индуктивно-связанная плазма, импульсная плазма высокой плотности, в которых используются плазменные разряды в углерод- и фторсодержащих газах [2]. Для формирования фторуглеродных покрытий могут применяться и автономные ионные источники на основе ускорителя с анодным слоем (УАС) [3]. Покрытия формировались при давлении 10^{-1} Па рабочего газа CF_4+C_6H_{12}. Содержание CF_4 составляло 10 – 70 %, ускоряющее напряжение на аноде – 1 – 3 кВ, ток разряда – 200 мА, плотность тока – 3,0 – 3,2 мА/см^2. Последующее увеличение содержания CF_4 приводило к насыщению поверхности фтором, образованию устойчивых связей C–F. Использование 100 % CF_4 вызывало травление поверхности осаждаемого покрытия. Содержание фторсодержащего газа также влияло на поверхностную энергию. Синтез покрытий также можно осуществить с использованием ускорителя с анодным слоем, работающего в режиме ионно-пучкового фокуса [4]. В данной работе будет исследовано влияние состава рабочего газа на характеристики фторуглеродных тонкопленочных слоев.

Основная часть. Формирование фторуглеродных тонкопленочных покрытий проводили на модернизированной установке вакуумного напыления ВУ-1А, оснащенной ионным источником на базе ускорителя с анодным слоем. Остаточный вакуум не превышал значений $(3 – 4)\cdot10^{-3}$ Па. Рабочее давление составляло $(4 – 5)\cdot10^{-2}$ Па. Покрытия наносились на подложки из стекла и кремния. Исследовано влияние состава рабочего газа на характеристики фторуглеродных тонкопленочных слоев. Мощность первичного плазменного разряда составляла 200 – 230 Вт. Напряжение на диафрагме отсутствовало. Температура подложки не превышала 313 – 323 К.

Измерение оптических характеристик покрытий, нанесенных на подложки из стекла, осуществлялось в диапазоне 380 – 900 нм. Покрытия имели светло-серую окраску. Оптическое пропускание зависело от парциального давления фреона в рабочем газе (рисунок 1, а). На рисунке 1, б приведена зависимость величины пропускания на $\lambda = 555$ нм от давления фреона. Установлено, что увеличение доли фреона способствовало росту оптического пропускания фторуглеродных покрытий, что можно связать с заменой химических связей C–C на C–F.

Для измерения электрофизических параметров применяли МДП структуры. Измерения проводили на частоте 1 МГц. Установлено, что значения диэлектрической проницаемости ε,

тангенса диэлектрических потерь tgδ и удельного объемного сопротивления неоднозначно зависели от давления фторсодержащего газа (таблица 1).

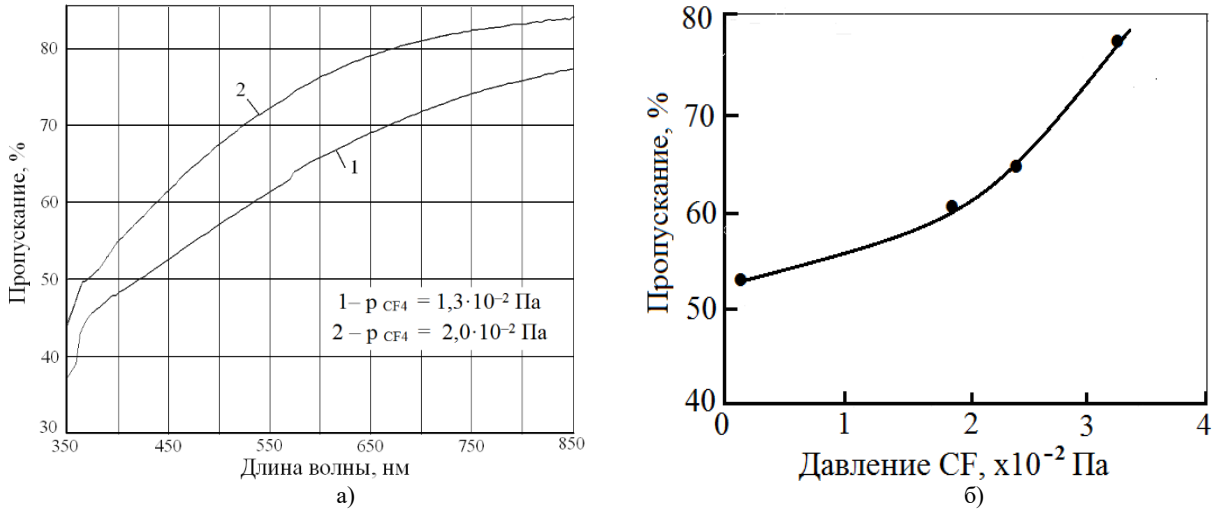


Рисунок 1 – Зависимость спектров пропускания (а) и пропускания на λ = 555 нм (б) от парциального давления фреона

Трибологические характеристики измерялись с использованием микротвердомера МТ-4. В качестве индентора применяли шарик из стали ШХ15 диаметром 4 мм. Нагрузка в условиях сухого трения составляла 0,15 Н. Установлено, что парциальное давление фреона в рабочем газе также неоднозначно влияет на коэффициент трения k фторуглеродных покрытий.

Таблица 1 – Результаты измерений характеристик фторуглеродных покрытий

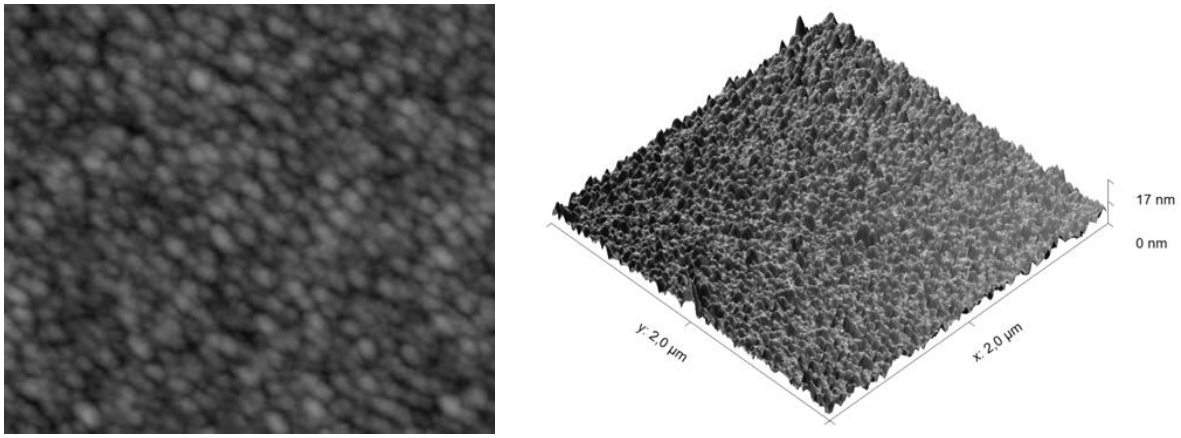
№ обр.	Давление CF, Па	ε	tgδ	ρ_v, Ом·м	Θ, град.	k
1	$0{,}11\cdot10^{-2}$	5,7	0,04	$7{,}4\cdot10^{4}$	79,3	0,42
2	$1{,}86\cdot10^{-2}$	7,0	0,12	$2{,}9\cdot10^{4}$	79,3	0,60
3	$2{,}40\cdot10^{-2}$	7,4	0,22	$1{,}1\cdot10^{4}$	79,2	0,47
4	$3{,}20\cdot10^{-2}$	4,5	0,10	$3{,}7\cdot10^{4}$	79,0	0,40

Угол смачивания θ поверхности фторуглеродного покрытия дистиллированной водой практически не изменялся при варьировании давления фреона и составил ~ 79^0 у покрытий, осажденных на подложки из кремния. При нанесении на стеклянные подложки угол смачивания увеличился до 90^0.

Микроструктура покрытий исследовалась с применением атомно-силового микроскопа Ntegra Prima. На рисунке 2 приведены 2D (а) и 3D (б) изображения поверхности фторуглеродного покрытия, полученного при давлении фреона $3{,}2\cdot10^{-2}$ Па. Установлено, что пленки имели зернистую структуру с шероховатостью 1,04 нм и размером зерна 1,327 нм, причем эти параметры практически не зависели от парциального давления фреона.

Измерение адгезии методами отрыва липкой ленты и насечек показало, что покрытия, нанесенные на стеклянные подложки, не прошли тесты, что связано с высоким уровнем механических напряжений в покрытии. При нанесении на подложки из кремния все покрытия, полученные при различных давлениях фреона, успешно прошли тесты на адгезию (5В по шкале ASTM).

Термостойкость покрытий определялась путем нагрева образцов в вакууме ~ 50 – 100 Па при температуре 573 К. Установлено, что термообработка привела к незначительным изменениям параметров фторуглеродных покрытий, полученных при различных составах рабочего газа.



а) б)

Рисунок 2 – Морфология поверхности фторуглеродного покрытия, полученного при давлении фреона $3{,}2 \cdot 10^{-2}$ Па

Заключение. Проведенные исследования позволили определить влияние давления фреона на характеристики фторуглеродных покрытий. Увеличение доли фреона способствовало росту оптического пропускания фторуглеродных покрытий, что можно связать с заменой химических связей C–C на C–F. Установлено, что значения диэлектрической проницаемости ε, тангенса диэлектрических потерь tgδ и удельного объемного сопротивления и коэффициента трения неоднозначно зависели от давления фторсодержащего газа.

Список литературы

1. *Лучников, А.П. Микроструктура и электрофизические свойства фторполимерных пленок для МЭМС и наноэлектроники / А.П. Лучников, П.А. Лучников, А.С. Сигов// Нано- и микросистемная техника.– 2007.– №12(89).– С. 34 – 40.*

2. *Jacobsohn, L.G Film growth and relationship between microstructure and mechanical properties of a-C:H:F films deposited by PECVD /L.G Jacobsohn, D. F. Franceschini //Diamond and Related Materials. – 2001. – 10(2). – PP. 125 – 131.*

3. *Елинсон, В.М. Физико-химические и антимикробные свойства поверхности полиэтилентерефталата и политетрафторэтилена при наноструктурировании ионно-плазменными методами/ В.М. Елинсон, А.Н. Лямин, О.А. Подлесная // Технология машиностроения. – 2012. – № 10. – С. 44 – 48.*

4. *Ракицкий, А.А. Синтез фторуглеродных покрытий из ионного пучка/ А.А. Ракицкий, науч. рук. Е.В. Телеш // Электронные системы и технологии: сборник материалов 61-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования БГУИР. – С. 344 – 345.*

UDC 621.793.18

INFLUENCE OF WORKING GAS COMPOSITION ON THE CHARACTERISTICS OF FLUOROCARBON COATINGS OBTAINED BY DIRECT ION BEAM DEPOSITION

Kurbako E.G.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Telesh E.V. – Senior lecturer of the department of ETT

Annotation. The influence of working gas composition on the characteristics of fluorocarbon coatings was studied. It was found that increasing the freon content contributed to an increase in the optical transmittance of fluorocarbon coatings, which can be attributed to the replacement of C–C chemical bonds with C–F.

Keywords. Fluorocarbon coatings, direct deposition, freon pressure, optical characteristics, electrophysical characteristics, tribological characteristics, microstructure

УДК 615.47:615.844.5

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ПРОГРАММИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОЛИЗА НА ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИКОМПОЗИЦИОННЫХ НИКЕЛЕВЫХ ПОКРЫТИЙ

Ордо С.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Кузьмар И.И – к.т.н., заведующая НИЛ НИЧ

Аннотация. В ходе проведения научных исследований установлены зависимости влияния параметров программируемых режимов электролиза на функциональные свойства поликомпозиционных никелевых покрытий. Покрытия, сформированные с использованием импульсных униполярного и реверсированного токов, превосходят по микротвердости осадки, полученные на постоянном токе.

Ключевые слова: электрохимическое покрытие, микротвёрдость, коррозия, коэффициент трения, износостойкость.

Введение. Никелевые покрытия обеспечивают высокую коррозионную стойкость, твёрдость и износостойкость, защищая металл от агрессивных сред и механических повреждений. Также никелирование позволяет покрыть деталь любой конфигурации, что способствует широкому распространению этого покрытия. Проведенный анализ позволил выделить основные направления для возможного эффективного управления элементным составом и твёрдостью поликомпозиционных покрытий. В отличие от традиционных нестационарных режимов с жестко заданными параметрами, программируемый ток позволяет гибко изменять амплитуду, длительность и частоту импульсов в реальном времени. Управление параметрами поляризующего тока при осаждении позволяет получать мелкокристаллические структуры с различным составом и свойствами. В работе рассмотрено влияние условий электрохимического осаждения на функциональные свойства осадков [1, 2].

Основная часть. На рисунке 1, а представлены снимки морфологии поверхностей, полученных при чередовании по 1 минуте постоянного и импульсного 3:7 мс токов, на рисунке 1, б – при чередовании по 1 минуте постоянного и реверсированного 60:20 мс токов, в – при чередовании по 1 минуте постоянного и реверсированного 60:30 мс токов, г – при чередовании по 1 минуте постоянного и реверсированного 300:100 мс токов, д – при чередовании по 1 минуте постоянного и реверсированного 12:4 мс токов, е – при чередовании по 1 минуте реверсированного 0,6:0,2 мс и реверсированного 60:30 мс токов, ж – при чередовании по 1 минуте реверсированного 0,6:0,2 мс и реверсированного 60:30 мс токов, з – трехслойное покрытие: постоянный ток 10 мин, затем реверсированный 0,6:0,2 мс 20 минут и реверсированный 12:4 мс 10 мин).

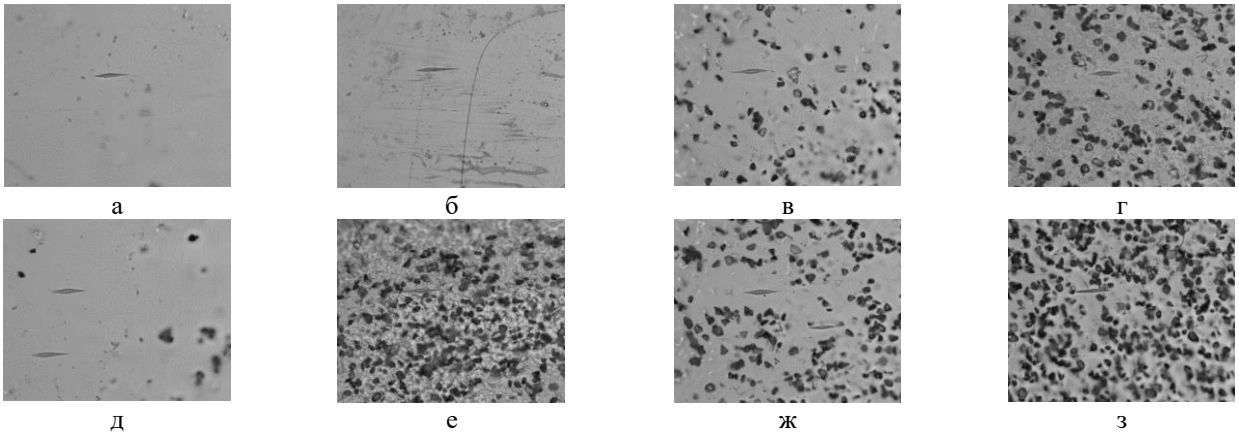


Рисунок 1 – Структура покрытий, сформированных при программном изменении электролиза, с отпечатком, полученным при измерении микротвердости методом Кнуппа (НК)

Микротвёрдость никелевых покрытий измеряли с использованием микротвердомера

Leica VMHT MOT по методу Кнуппа, который заключается во вдавливании удлиненной алмазной пирамиды в поверхность образца под нагрузкой менее 5 Н. Измерения проводились для каждого образца в трёх точках, что позволило получить усреднённые значения и оценить разброс характеристик. Так микротвёрдость образцов составила от 4,95 до 8,09 ГПа. Использование биполярного импульсного тока при соотношении длительности прямого и обратного импульсов 10:1, 7:1 и 5:1 привёл к её повышению, тогда как при соотношении 3:1 и ниже наблюдалось снижение этого показателя. В случае униполярного импульсного тока микротвёрдость оказывается выше, чем при осаждении на постоянном токе. Для поликомпозиционных никелевых покрытий характерны следующие значения микротвердости: 7,48 ГПа на постоянном токе, от 3,35 до 5,92 ГПа – на импульсном, от 3,83 до 7,54 ГПа – на реверсированном, и от 4,95 до 8,01 ГПа – с использованием программируемых токов.

Исследование трибологических характеристик, а именно коэффициента трения, выполняли на микротрибометре МТ 4.05 по схеме сфера-плоскость, где плоский образец с покрытием приводился в возвратно-поступательное движение под закрепленным шариком при строго контролируемой нормальной нагрузке в диапазоне от 10 мН до 1 Н и скорости скольжения 0,1–10 мм/с, при этом электромагнитный привод обеспечивал минимизацию вибраций и механического шума, искажающих результаты. В процессе испытаний датчики непрерывно регистрировали силу трения, а коэффициент трения рассчитывался как отношение этой силы к приложенной нормальной нагрузке, причём для каждого образца измерения проводились как вдоль, так и поперек линии прокатки подложки для исключения влияния анизотропии свойств материала. Коэффициент трения варьируется от 0,141 до 0,432 и зависит от состава покрытия и шероховатости поверхности. Влияние условий электроосаждения на коэффициент трения поликомпозиционных никелевых покрытий представлено на рисунке 2, где 1 – постоянный ток; 2 – импульсный ток (отношение длительности импульса к длительности паузы $\tau_{имп}:\tau_{паузы}$ =3:7 мс), 3 - при программном изменении (чередование по 1 минуте (постоянного тока и импульсного с соотношением $\tau_{имп}:\tau_{паузы}$ =3:7 мс)

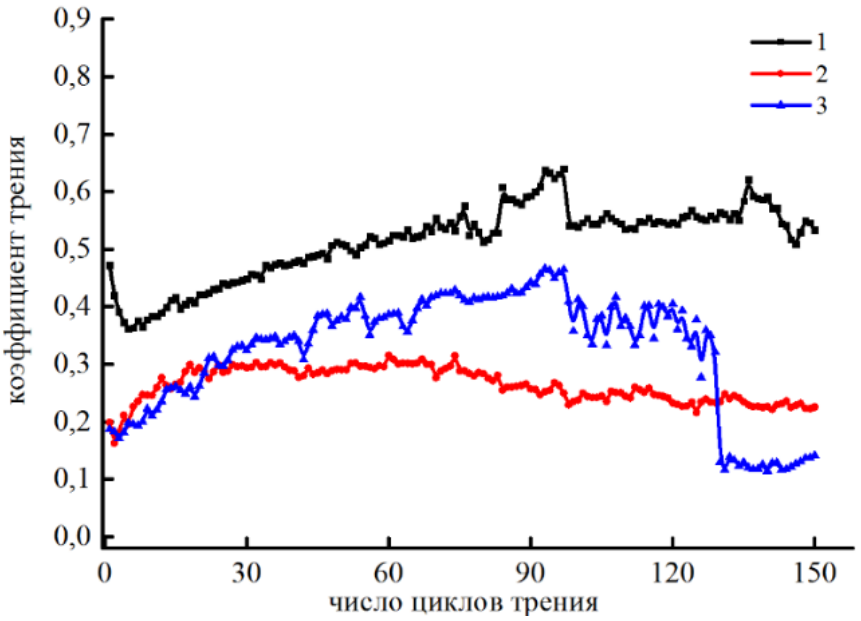


Рисунок 2 – Влияние условий электроосаждения на коэффициент трения поликомпозиционных никелевых покрытий

Использование комбинированных токов позволяет значительно уменьшить коэффициент трения, что придает никелевому покрытию большую износостойкость. Коэффициент трения варьируется от 0,53 при электроосаждении на постоянном токе до 0,44–0,77 на импульсном,

0,26–0,33 на реверсированном и 0,14–0,43 на программируемых токах, что подтверждает эффективность применения сложных режимов электролиза для управления трибологическими свойствами покрытий.

Покрытия толщиной 6,0 и 30,0 мкм наносились на латунные подложки. Коррозионные испытания проводились в течение 8 (восьми) суток в 30-процентном растворе NaCl гравиметрическим методом и заключались в определении потери массы образцов после экспозиции. скорость саморастворения находится в диапазоне 0,0228-0,0478 г/м²·ч. Перед и после испытаний образцы промывали дистиллированной водой, сушили и взвешивали. В результате видимые повреждения выявлены не были. Основным недостатком гальванического никеля является его пористость, обусловленная кристаллической неоднородностью, поверхностными дефектами, высокими внутренними напряжениями и питтингом. Решением проблемы может стать чередование микрослоёв, осажденных с помощью программируемых источников импульсного тока: взаимное перекрытие слоев компенсирует дефекты, характерные для однослойных покрытий. Варьирование параметрами поляризующего тока позволило получить покрытия без видимых очагов коррозии, а скорость коррозии снизилась в 1,2–2,8 раза по сравнению с покрытиями, осажденными на постоянном токе. Предложенные условия способствуют улучшению защитных характеристик покрытий.

Заключение. Установлено, что применение нестационарных режимов электролиза позволяет управлять структурой и свойствами поликомпозиционных никелевых покрытий. По сравнению с покрытиями, осажденными на постоянном токе, они обладают более высокой микротвердостью, гладкой мелкозернистой поверхностью и улучшенными электрическими характеристиками. Формирование многослойных структур с чередующимися микрослоями компенсирует пористость – основной недостаток гальванического никеля. Таким образом, нестационарный электролиз является эффективным методом получения покрытий с заданными улучшенными свойствами для радиоэлектронной промышленности.

Список литературы

1. *Импульсное электроосаждение и свойства композиционных покрытий никель-оксид графена / В. Н. Целуйкин, [и др.] // Москва: Физикохимия поверхности и защита материалов, 2023. Т. 59, № 3. С. 305-309.*

2. *Шушков, Р.В. Влияние режима электролиза на свойства никелевых покрытий / Р.В. Шушков, Н.Д. Соловьева // Москва: Успехи в химии и химической технологии, 2007. Т. 21, № 10. С. 29-33..*

UDC 615.47:615.844.5

INFLUENCE OF PROGRAMMABLE ELECTROLYSIS MODES ON FUNCTIONAL PROPERTIES POLYCOMPOSITE NICKEL COATINGS

Kot P.V., Ordo S.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Kuzmar I.I. – Cand. of Sci., Head of the Research Laboratory of R&D Department

Annotation. In the course of scientific research, the dependences of the influence of the parameters of programmable electrolysis modes on the functional properties of polycomposite nickel coatings have been established. Coatings formed using pulsed unipolar and reversed currents are superior in micro-stability to precipitation obtained with direct current.

Keywords: electrochemical coating, rupture, solderability, contact electrical resistance.

УДК 621.3.095.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СВЧ ПОЛЯ ВНУТРИ КОЛЬЦЕВОГО ВОЛНОВОДА

Барковская К.Н.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Мадвейко С.И. – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой ЭТТ

Аннотация. Проведено компьютерное моделирование распределения СВЧ поля внутри кольцевого волновода при частоте f = 2,45 ГГц, соответствующей СВЧ диапазону. Получена модель при значении подводимой мощности P СВЧ излучения, равной 0,7 кВт.

Ключевые слова: волновод, СВЧ, моделирование.

Введение. Плазменные технологии в микроэлектронике играют ключевую роль в производстве полупроводниковых устройств, таких как микрочипы, транзисторы и другие компоненты. Они позволяют проводить точную и контролируемую обработку материалов на микроскопическом уровне [1].

Учитывая актуальность применения плазмы и плазменных технологий в микроэлектронике, возникает необходимость разработки и модернизации существующего СВЧ плазменного технологического оборудования, широко применяемого в технологии микроэлектроники.

Волновод играет важную роль в конструкции СВЧ плазмотрона, так как он проводит энергию в рабочую камеру, где происходит формирование плазмы и обработка полупроводников. В данной статье целью исследования является анализ распределения СВЧ поля внутри кольцевого волновода. Представлены результаты компьютерного моделирования электромагнитного поля СВЧ диапазона для медного кольцевого волновода.

Основная часть. Компьютерное моделирование электромагнитного СВЧ поля выполнялось для кольцевого волновода при частоте f = 2,45 ГГц, соответствующей СВЧ диапазону. В результате была получена модель при значении подводимой мощности P, равной 0,7 кВт.

Модель, на основе которой выполнялось моделирование, представляет собой замкнутый в кольцо волновод, являющийся цилиндрическим резонатором, с расположенной на его оси реакционной камерой. Мощность подводится к прямоугольной части волновода. Высота ввода волновода – 90 мм, ширина – 45 мм. Внешний диаметр круглой части волновода составляет 390 мм. Место ввода электромагнитной энергии от СВЧ генератора представляет собой короткую волноводную секцию 28 мм, соединённую с кольцевой частью волновода. В месте перехода установлен рассекатель СВЧ волн. Через щелевые излучатели, выполненные на внутренней стенке волновода, электромагнитная энергия поступает в рабочую область. Щелевые излучатели располагаются на внутренней стенке волновода. Их ширина составляет 68 мм, что соответствует половине длины СВЧ волны.

Компьютерное моделирование выполнялось по следующим формулам. Значения частоты среза для различных мод получают аналитически из выражения (1):

$$(\nu_c)_{mn} = \frac{c}{2}\sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}, \quad (1)$$

где m и n – индексы моды (для TE_{10} моды m = 1, n = 0);

c – скорость света;

a и b – размеры сечения волновода.

Кольцевой волновод выполнен в изогнутой *H*-плоскости прямоугольного волновода и может рассматриваться как замкнутый прямоугольный волновод. Вследствие этого, исходя из граничных условий в волноводе, распределение электромагнитного поля СВЧ для основной моды *TE*10 в таком волноводе можно записать следующим образом:

$$E_y = E_m \sin\left(\frac{\pi}{a}x\right) e^{j(\omega t - \beta z)}, \tag{2}$$

$$H_x = -\frac{\beta}{\omega\mu} E_m \sin\left(\frac{\pi}{a}x\right) e^{j(\omega t - \beta z)}, \tag{3}$$

$$H_z = j\frac{\pi}{\omega\mu a} E_m \cos\left(\frac{\pi}{a}x\right) e^{j(\omega t - \beta z)}, \tag{4}$$

$$E_x = E_z = H_y = 0, \tag{5}$$

где:

$$E_m = -\frac{j\omega\mu}{k_c^2}\frac{\pi}{a} H_0, \tag{6}$$

где k_c – волновое число волновода;

H_0 – константа, которой значение определяется мощностью возбуждения;

β – волновой вектор по направлению z;

μ – проницаемость в волноводе.

На рисунке 1 – 3 представлены результаты моделирования электрического поля внутри пустого резонатора.

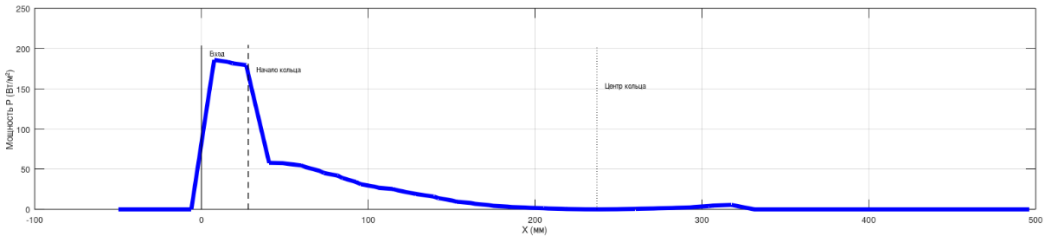


Рисунок 1 – Распределение СВЧ мощности вдоль оси *X*

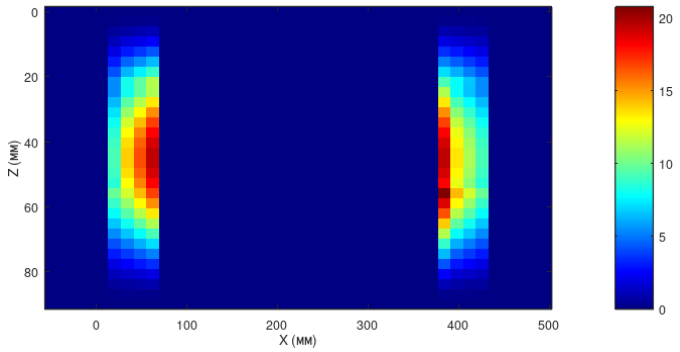


Рисунок 2 – Распределение СВЧ мощности по сечению *XZ*

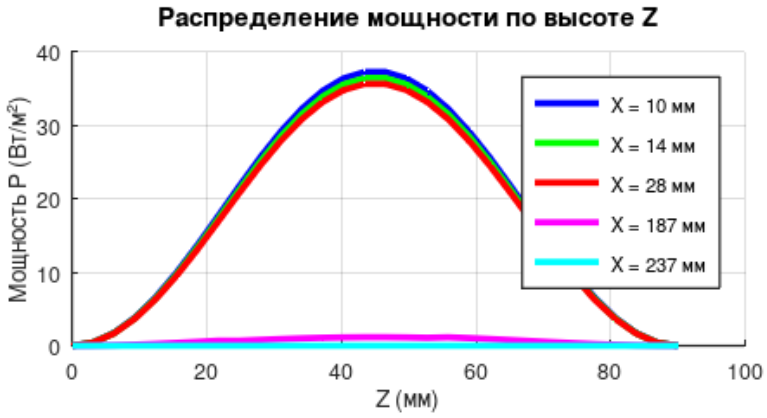


Рисунок 3 – Распределение СВЧ мощности по высоте (ось *Z*)

Согласно полученным результатам, значения удельной мощности постепенно снижаются за счёт наличия рассекателя и щелей внутри волновода (рисунок 1). Так как волновод имеет форму кольца, то мощность распределяется по окружности, при этом мощность концентрируется в центре стенок волновода относительно высоты волновода (рисунок 3) близко к реакционной камере (рисунок 2), что способствует формированию СВЧ плазмы внутри этой камеры.

Заключение. В результате выполнения компьютерного моделирования электромагнитного СВЧ поля внутри кольцевого волновода получены модели при значении подводимой СВЧ мощности *P*, равной 0,7 кВт. По моделям и зависимостям, представленным в данной статье, можно сделать вывод, что СВЧ мощность внутри кольцевого волновода распределяется неравномерно: мощность внутри волновода снижается, однако внутри кольцевой части волновода наблюдается концентрация мощности в центре стенок волновода (рядом с реакционной камерой).

Список литературы

1. *Барковская, К.Н. Исследование напряжённости электрического поля в объёме кварцевых трубок внутри СВЧ резонатора / К.Н. Барковская, Н.В. Талиш // Материалы 60-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР по направлению Электронные системы и технологии – Минск, 2024 – С.359 – 361.*

2. *Fan L., Jianhua W., Songyuan D. (2010) Numerical simulation and design of a new microwave annular waveguide plasma source - I: Simulations without the plasma parameters. INTERNATIONAL JOURNAL OF NUMERICAL MODELLING: ELECTRONIC NETWORKS, DEVICES AND FIELDS. 24:526–534. DOI: 10.1002/jnm*

UDC 621.3.095.3

MODELING OF MICROWAVE ELECTROMAGNETIC FIELD DISRIBUTION INSIDE AN ANNULAR WAVEGUIDE

Barkouskaya K.M.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Madveika S.I. – Cand. of Sci., Associate Professor, Head of the Department of electronic technique and technology

Annotation. Computer modeling of the distribution of the microwave elecromagnetic field inside an annular waveguide at frequency f = 2.45 GHz corresponding to the microwave range has been carried out. The model is obtained at a value of the input microwave power P equal to 0.7 kW.

Keywords: waveguide, microwave, modeling.

УДК 621.357.7

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ НИКЕЛИРОВАНИЕ ЗАЩИТНЫМ ПОКРЫТИЕМ АЛЮМИНИЕВЫХ КОРПУСОВ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Свирид Н.М.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Кузьмар И.И – к.т.н., зав. НИЛ 2.2 НИЧ БГУИР

Аннотация. В работе исследована формирования многослойного никелевого покрытия на деталях из алюминиевых сплавов. Предложен двухстадийный процесс электроосаждения, включающий нанесение специализированного адгезионного подслоя и последующего защитного слоя. Установлено влияние температурного и гидродинамического режимов электролиза на массу и качество осаждаемого покрытия. Показано, что совмещение подогрева и перемешивания электролита позволяет получить наиболее качественные защитные слои с высокой плотностью и стойкостью к внешним воздействиям.

Ключевые слова: электроосаждение, алюминий, никель, многослойные покрытия

Введение. Никелирование корпусов электронной техники из алюминиевых сплавов является критически важным этапом для обеспечения их долговечности и функциональности. Основная причина заключается в необходимости создания надежного защитного барьера, так как сам алюминий, несмотря на наличие естественной оксидной пленки, подвержен точечной коррозии и атмосферным воздействиям в агрессивных средах. Нанесение функционального никелевого слоя позволяет значительно повысить коррозионную стойкость изделий, предотвращая разрушение металла подложки. Кроме того, никелевое покрытие придает корпусам высокую поверхностную твердость и износостойкость, что защищает их от механических повреждений, царапин и истирания в процессе эксплуатации. Важным аспектом является и декоративная составляющая: никель обеспечивает стабильный металлический блеск, улучшая товарный вид изделий. В контексте электронной аппаратуры никелирование также способствует поддержанию стабильных электрических характеристик поверхности, обеспечивая качественное экранирование от электромагнитных помех и надежный электрический контакт в местах соединений. Поскольку первичный адгезионный подслой зачастую обладает высокой пористостью и недостаточной толщиной, именно последующее наращивание полноценного защитного слоя никеля гарантирует комплексную защиту основы от внешних факторов.

Ключевой проблемой металлизации алюминия является наличие естественной оксидной пленки ($Al_2O_3 \cdot nH_2O$), толщина которой варьируется от 2 до 20 нм. Эта пленка обладает ярко выраженными диэлектрическими свойствами (ширина запрещенной зоны Eg = 9 эВ) и крайне низкой химической активностью, что делает невозможным установление прямой металлической связи между кристаллической решеткой подложки и осаждаемым металлом на атомарном уровне.

С точки зрения электрохимии, оксидный слой выступает как дополнительный последовательный импеданс в эквивалентной электрической схеме межфазной границы. Он создает значительное омическое сопротивление, вызывая перераспределение потенциала в двойном электрическом слое (ДЭС) и падение напряжения, которое может достигать критических значений, препятствующих нормальному переносу заряда [1].

Существенная разница в стандартных электродных потенциалах между алюминием (E^0 = -1,66 В) и никелем (E^0 = -0,25 В) создает огромную термодинамическую движущую силу (ЭДС) для протекания реакций контактного вытеснения (цементации). При погружении алюминиевой детали в кислый электролит немедленно инициируется спонтанная реакция:

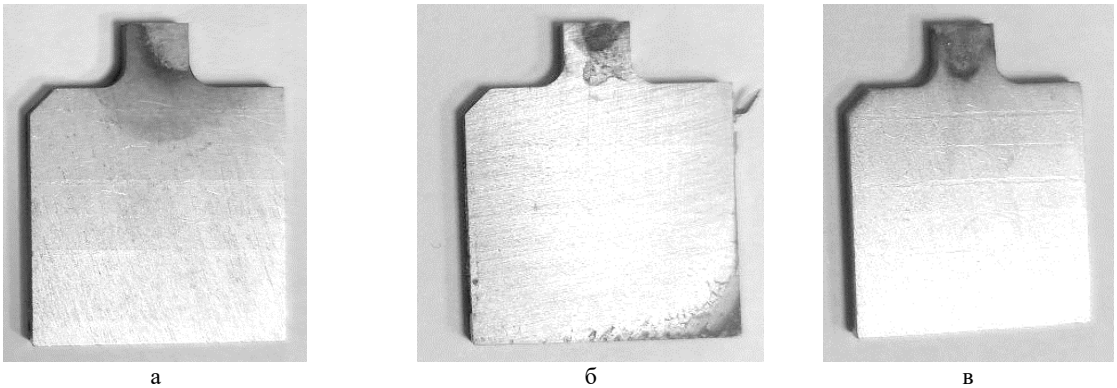
$$2Al^0 + 3Me^{2+} \rightarrow 2Al^{3+} + 3Me^0$$

Этот процесс протекает с высокой скоростью еще до подачи внешнего тока. Формирующийся контактно выделены слой характеризуется рыхлой, дендритной морфологией, что объясняется хаотичным ростом кристаллов без формирования когерентной связи с подложкой.

Основная часть. Для достижения требуемого покрытия технологический процесс был разделен на два этапа: формирование адгезионного подслоя и последующее нанесение защитного слоя. Использование стандартного состава для никелирования стали ($NiSO_4 \cdot 7H_2O$ – 300 г/л, $NiCl_2 \cdot 6H_2O$ – 60 г/л, H_3BO_3 – 60 г/л) в качестве единственного слоя оказалось невозможным из-за высокой концентрации хлорид-ионов (Cl^-), вызывающих точечную коррозию алюминия, и «пригорания» покрытия [2,3].

В связи с этим, первым этапом стало формирование адгезионного подслоя из электролита состава: $NiSO_4 \cdot 7H_2O$ – 200 г/л; NaCl – 2,5 г/л; H_3BO_3 – 25 г/л; KF – 2,5 г/л; Na_2SO_4 – 50 г/л; $K_2S_2O_8$ – 3 г/л [3]. Выбор данного состава для первого подслоя обусловлен необходимостью контролируемого протравливания оксидной пленки (за счет KF) и минимизации риска межкристаллитной коррозии (за счет низкого содержания хлоридов). Согласно классическим трудам В.И. Лайнера и Ю.Я. Лукомского, именно разделение процесса и использование фторсодержащих добавок в первом подслое является ключом к успешному осаждению на химически активные основы [2,4].

Результаты экспериментальных исследований, представленные на рисунке 1 и в таблице 1, демонстрируют зависимость параметров электрохимического осаждения никелевых покрытий на алюминиевую подложку от режима электролиза с использованием оптимизированного фторидсодержащего электролита. Установлено, что увеличение плотности постоянного тока (ПТ) с 0,5 до 3,0 А/дм² сопровождается закономерным ростом толщины осажденного слоя с 0,61 до 4,86 мкм при одновременном повышении скорости осаждения от 0,061 до 0,497 мкм/мин. Наибольший выход по току (84%) зафиксирован при плотности тока 1,5 А/дм², что коррелирует с формированием равномерного мелкозернистого покрытия без видимых дефектов. Дальнейшее повышение плотности тока до 3,0 А/дм² приводит к снижению выхода по току до 79% и появлению краевых эффектов в виде локального «пригорания» осадка. Применение импульсного режима (ИТ) с заданным соотношением длительности импульса и паузы (τ) (1:0,1 мс) при средней плотности тока 1 А/дм² обеспечивает формирование покрытия толщиной 1,71 мкм со скоростью осаждения 0,175 мкм/мин, однако уступает по эффективности оптимальному стационарному режиму. Таким образом, оптимальным технологическим режимом, обеспечивающим высокую скорость осаждения (0,268 мкм/мин), максимальный выход по току (84%) и удовлетворительное качество покрытия, является плотность ПТ 1,5 А/дм².



а б в

Рисунок 1 – Образцы алюминия с покрытиями осажденные при режиме: а – ПТ i =1.5А/дм² ; б – ПТ i = 3 А/дм²; в – ИТ i =1 А/дм² $\tau_{импульса}$:$\tau_{паузы}$ 1:0,1мс

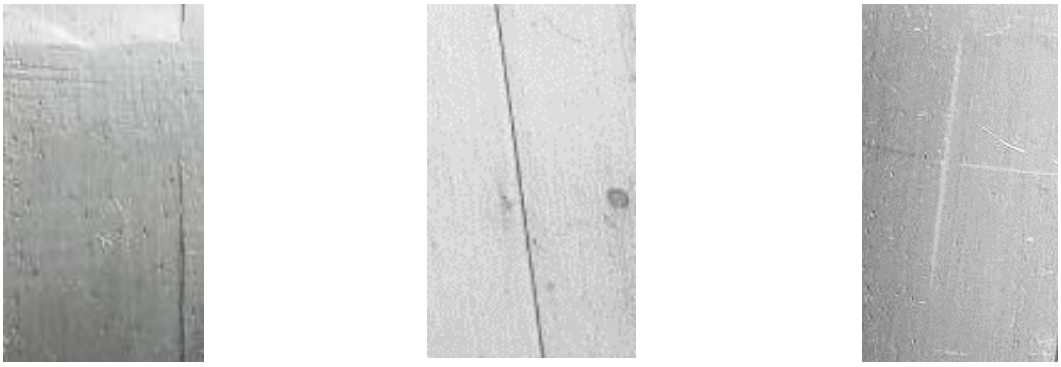
Таблица 1 – Осаждение никелевого подслоя на образцы при разных режимах электролиза в течении 10 минут

Режим электросаждение	Отношение длительности импульса к паузе, мс	Ток, А/дм^2	Толщина, мкм	Скорость осаждения, мкм/мин	Выход по току %
ПТ	-	0,5	0,61	0,06	60
ПТ	-	1	1,20	0,12	58
ПТ	-	1,5	2,59	0,26	84
ПТ	-	2	3,27	0,33	80
ПТ	-	3	4,86	0,49	79
ИТ	10:1	1	1,71	0,17	56
ИТ	1:0,1	1	1,71	0,17	56
ИТ	100:10	1	2,00	0,20	66

Основной задачей второго этапа является наращивание функционального никелевого покрытия, обладающего высокой коррозионной стойкостью, твердостью и декоративным блеском. Необходимость нанесения второго слоя обусловлена тем, что первый (адгезионный) подслой имеет высокопористую структуру и малую толщину, из-за чего на поверхности при тактильном контакте остаются следы, и он не обеспечивает надежной защиты алюминиевой основы от атмосферных воздействий. Для осаждения защитного покрытия использовался высококонцентрированный электролит, содержаший: $NiSO_4 \cdot 7H_2O$ – 300 г/л, $NiCl_2 \cdot 6H_2O$ – 60 г/л, H_3BO_3 – 60 г/л и оптимизированную концентрацию блескообразующих добавок. Конкретизация задачи на данном этапе заключалась в оптимизации условий электролиза для предотвращения дендритообразования на уже сформированном подслое. Исследовалось влияние температуры (подогрев до 45–55°C) и гидродинамики (интенсивное перемешивание) на выход по току и морфологию осадка.

Лимитирующей стадией процесса является десорбция пузырьков водорода с поверхности катода (рисунок 2). Это явление играет ключевую роль в формировании итогового качества покрытия. Длительное время пребывания пузырьков (рисунок 2 а) приводит к экранированию поверхности и формированию макроскопических дефектов, что выражается в появлении крупного редкого питтинга. Такие дефекты не только ухудшают внешний вид, но и снижают защитные свойства слоя. Интенсификация процесса возможна за счет гидродинамического воздействия: перемешиванию (рисунок 2 б) обеспечивает механический отрыв пузырьков, сокращая время их контакта с электродом. Вследствие этого наблюдается диспергирование дефектов при одновременном росте плотности их распределения, что характеризуется образованием мелкого частого питтинга. Подобная морфология является более предпочтительной, так как снижает глубину каждого отдельного дефекта.

Иной механизм реализуется при термической активации (рисунок 2 а): снижение вязкости электролита облегчает удаления пузырей водорода, однако в отсутствие принудительного удаления пузырьков сохраняется риск локальной пассивации поверхности. Это может приводить к неравномерному росту покрытия и локальным непрокрытиям. Наиболее однородная структура никеля достигается в условиях использования обоих приемов (рисунок 2 в). Сочетание термического снижения вязкости и поверхностного натяжения с активным выносом газовой фазы обеспечивает минимальное время экранирования катода. Данный режим коррелирует с формированием оптимальной морфологии – мелкого редкого питтинга. Таким образом, именно комбинированное воздействие позволяет получить покрытие с наилучшими эксплуатационными характеристиками.



а б в

Рисунок 2 – Микроморфология поверхности защитного никелевого покрытия при различных условиях электролиза: а – подогрев без перемешивания; б – перемешивание без подогрева; в – подогрев + перемешивание

Заключение. В результате проведенных исследований разработана и апробирована методика двухстадийного электрохимического никелирования алюминиевых подложек, где разделение процесса на стадии нанесения адгезионного подслоя и функционального слоя позволяет нивелировать влияние оксидной пленки и обеспечить высокую адгезию. Установлено, что оптимальным режимом для формирования первого слоя является плотность постоянного тока 1,5 А/дм², обеспечивающая максимальный выход по току (84%) и получение равномерного мелкозернистого осадка без дефектов «пригорания», что создает надежную базу для последующего наращивания защитного слоя.

Выявлено, что совмешения воздействие подогрева электролита до 45–55°С и интенсивного перемешивания способствует ускоренному удалению газовой фазы водорода, предотвращая экранирование поверхности и образование питтинга. Совмещение данных приемов позволяет получать наиболее плотные и коррозионностойкие покрытия с высокими декоративными свойствами, в связи с чем разработанный технологический процесс рекомендуется для внедрения в производство корпусных деталей электронной аппаратуры из алюминиевых сплавов для обеспечения их комплексной защиты.

Список литературы

1. *Walsh F. C., Low C. T. J. The review of tin electroplating // Surface and Coatings Technology. – 2016*

2. *Lashmore D. S. Plating on Aluminum: A Review // Plating and Surface Finishing. – 1980. – Vol. 67, № 1. – P. 37–42.*

3. *Лукомский Ю.Я. Теоретические аспекты и технология непосредственного нанесения гальванических покрытий на алюминий и его сплавы: Автореф. дис. д-ра техн. наук. М., 1991. 27 с.*

4. *Справочное руководство по гальванотехнике. Пер. с нем. / Под ред. В. И. Лайнера. М.: Металлургия, 1969. Т. 1. 418 с.*

UDC 621.357.7

ELECTROCHEMICAL NICKEL PLATING WITH A SURFACE COATING OF ALUMINUM ELECTRONIC CASES

Svirid N.M.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Kuzmar I.I., - Cand. of Sci., Head of Research Laboratory 2.2, BSUIR Research Institute

Annotation. This paper examines the formation of a multilayer nickel coating on aluminum alloy components. A two-stage electrodeposition process is proposed, including the application of a specialized adhesive sublayer and a subsequent protective layer. The influence of temperature and hydrodynamic conditions of electrolysis on the mass and quality of the deposited coating is determined. It has been shown that combining heating and stirring the electrolyte produces the highest quality protective layers with high density and resistance to external influences.

Keywords: electrodeposition, aluminum, nickel, multilayer coatings

УДК 616-78

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАИИ ПАРАМЕТРОВ ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ

Коваленко А.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Ревинская И.И. – ст. преподаватель кафедры ЭТТ

Аннотация. В работе рассматривается разработка программного комплекса для бесконтактной оценки параметров внешнего дыхания на основе анализа видеозаписи пациента. Предложенный подход использует методы компьютерного зрения для отслеживания движения маркеров, расположенных на теле человека, и последующего анализа динамики дыхательных движений. Система выполняет сегментацию изображения, детекцию и трекинг маркеров, автоматическую калибровку масштаба и формирование временных рядов изменения положения грудной клетки и брюшной области. На основе полученных данных строятся графики дыхательных колебаний и вычисляются основные параметры дыхания, такие как частота дыхания, амплитуда дыхательных движений и стабильность ритма. Практическая значимость разработки заключается в возможности получения количественных характеристик дыхания без использования специализированного медицинского оборудования.

Ключевые слова: внешнее дыхание, бесконтактная, компьютерное зрение, видеоанализ, дыхательные движения, трекинг маркеров, графики дыхания

Введение. Функция внешнего дыхания является одним из важнейших показателей состояния дыхательной системы человека. Нарушения дыхательной функции могут свидетельствовать о развитии различных заболеваний лёгких, включая хроническую обструктивную болезнь лёгких, бронхиальную астму и другие патологии. Для диагностики и мониторинга таких заболеваний широко применяются методы исследования функции внешнего дыхания, в частности спирометрия, позволяющая измерять такие параметры, как дыхательный объём, частота дыхания и минутная вентиляция лёгких [1].

Классические методы исследования дыхательной функции предполагают использование специализированного медицинского оборудования, такого как спирометры и спирографы. Несмотря на высокую точность таких устройств, их применение связано с рядом ограничений: необходимостью использования контактных датчиков, специализированного оборудования и присутствия медицинского персонала. В связи с этим в последние годы активно развивается направление бесконтактного мониторинга физиологических параметров человека на основе анализа видеоданных [2] и методов компьютерного зрения [3].

Современные исследования показывают, что анализ движения грудной клетки и брюшной области на видеозаписях может использоваться для оценки частоты дыхания и других параметров дыхательного процесса. Методы компьютерного зрения позволяют выявлять даже небольшие колебания поверхности тела, вызванные дыхательными движениями, и преобразовывать их в цифровые сигналы, пригодные для дальнейшего анализа [4].

Развитие технологий машинного обучения и нейронных сетей значительно расширило возможности обработки медицинских изображений и видеоданных. Использование нейросетевых алгоритмов позволяет автоматизировать процессы сегментации изображения, обнаружения ключевых точек и анализа временных рядов, полученных при наблюдении за движениями человека [5].

Целью данной работы является разработка программного обеспечения для получения и визуализации параметров внешнего дыхания на основе анализа видеозаписи пациента.

Предлагаемый программный комплекс позволяет автоматически извлекать дыхательные сигналы из видеопотока, строить графики дыхательных движений и вычислять основные показатели дыхательной активности.

Основная часть. Разрабатываемый программный комплекс предназначен для анализа видеозаписей пациента с целью получения количественных характеристик дыхательного процесса. Основная идея метода заключается в отслеживании движения отдельных участков тела, связанных с дыхательными движениями грудной клетки и брюшной области.

В процессе работы система выполняет несколько последовательных этапов обработки данных. На первом этапе производится загрузка видеозаписи и её предварительная обработка. Видео разбивается на отдельные кадры, после чего осуществляется их анализ с использованием алгоритмов компьютерного зрения. Для реализации данного этапа используются современные библиотеки обработки изображений и видеоданных, такие как *OpenCV* и другие инструменты языка программирования *Python*.



Рисунок 1 – Демонстрация различных тестов детектирование с библиотекой *OpenCV*

Следующим этапом является обнаружение области интереса на изображении. В большинстве случаев дыхательные движения наиболее выражены в области грудной клетки и верхней части живота. Для повышения точности измерений система выполняет выделение ключевых точек или маркеров, расположенных на поверхности тела пациента. Отслеживание положения этих точек позволяет регистрировать даже небольшие перемещения, возникающие в процессе дыхания.

После определения ключевых точек выполняется их трекинг на последовательности видеокадров. В результате формируется временной ряд координат, отражающий изменение положения каждой точки во времени. Такие временные ряды представляют собой сигнал, содержащий информацию о дыхательных колебаниях. Анализ движения пикселей и координат точек позволяет эффективно выделять дыхательный сигнал даже при наличии шумов и незначительных движений тела [6].

Полученные данные подвергаются дальнейшей математической обработке. На этом этапе применяются методы фильтрации и сглаживания сигналов (медианный фильтр, фильтр скользящего среднего, фильтр Баттерворта), позволяющие устранить случайные колебания и повысить стабильность измерений. После фильтрации формируется дыхательная кривая, представляющая собой график изменения положения грудной клетки во времени.

Графическое представление дыхательных сигналов играет важную роль в анализе состояния пациента. На основе полученных временных рядов строятся графики дыхательных движений, позволяющие визуально оценить форму дыхательного цикла, амплитуду движений и регулярность дыхательного ритма. Каждый дыхательный цикл на графике соответствует последовательности фаз вдоха и выдоха.

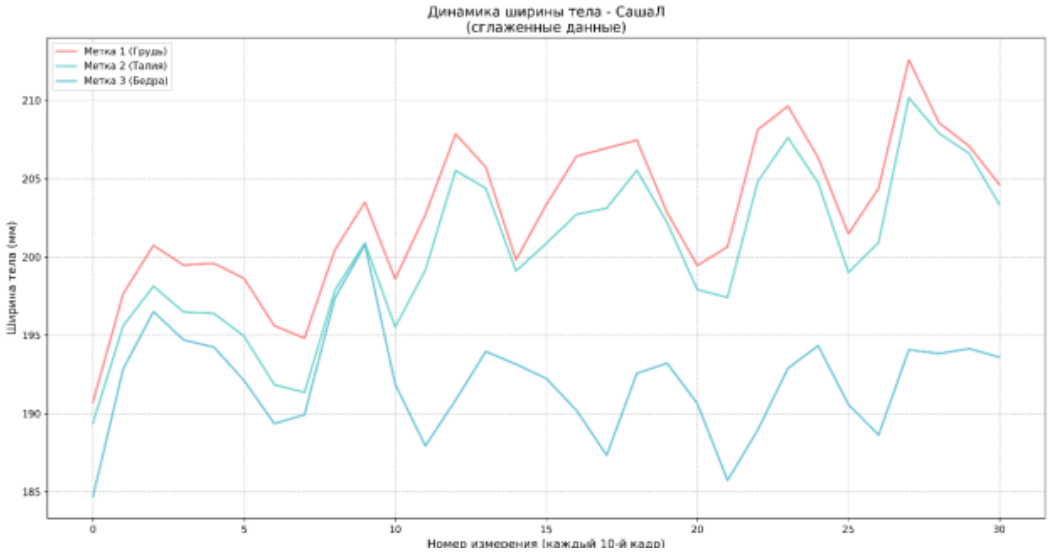


Рисунок 2 – Общий график всех меток одного пациента

Анализ формы дыхательной кривой позволяет автоматически определять ключевые параметры дыхания. Одним из основных показателей является частота дыхания, которая определяется как количество дыхательных циклов за определённый интервал времени. Кроме того, по амплитуде колебаний графика можно оценить интенсивность дыхательных движений и приблизительно определить дыхательный объём.

Дополнительно система может анализировать регулярность дыхательного ритма, выявляя возможные отклонения или нерегулярные дыхательные паттерны. Такие нарушения могут быть связаны с различными физиологическими или патологическими состояниями организма. Использование алгоритмов анализа временных рядов позволяет автоматически обнаруживать подобные особенности дыхательного процесса.

Современные исследования показывают, что методы анализа видеоданных могут обеспечивать достаточно высокую точность измерения частоты дыхания. В ряде работ показано, что алгоритмы обработки видеосигнала способны определять частоту дыхания с небольшой погрешностью по сравнению с традиционными медицинскими измерительными системами [7]. Это подтверждает перспективность использования компьютерного зрения для разработки систем дистанционного мониторинга дыхания.

Для повышения точности измерений в разрабатываемой системе используется метод калибровки масштаба изображения. При наличии маркеров известного размера на поверхности тела пациента возможно преобразование координат из пикселей изображения в реальные физические величины. Это позволяет более корректно оценивать амплитуду дыхательных движений и получать количественные показатели, приближенные к реальным физиологическим значениям.

Важной частью системы является модуль визуализации данных. Он обеспечивает построение различных графиков, отображающих изменения дыхательных параметров во времени. Такие графики могут использоваться врачами для анализа дыхательного ритма, выявления отклонений и сравнения результатов различных измерений. Наглядное представление данных облегчает интерпретацию результатов и способствует более эффективной диагностике.

Использование программных методов анализа видеоданных открывает новые возможности для развития телемедицины и дистанционного мониторинга состояния пациента. Бесконтактные методы измерения физиологических параметров могут применяться в условиях, когда использование традиционного медицинского оборудования затруднено или невозможно.

Заключение. Использование современных библиотек языка программирования *Python* и инструментов обработки изображений позволяет реализовать гибкую систему анализа видеоданных. Полученные результаты демонстрируют перспективность применения методов компьютерного зрения для разработки систем бесконтактного мониторинга физиологических параметров человека. В дальнейшем развитие программного обеспечения может быть направлено на повышение точности алгоритмов обработки видеоданных, расширение перечня анализируемых параметров дыхания и интеграцию системы с веб-приложениями для удалённого мониторинга состояния пациентов.

Список литературы

1. *Полянская М.А. Спирометрия в оценке нарушений функции дыхательной системы. [Электронный ресурс].*

2. *Ревинская, И. И. Методика оценки легочных объемов на основе записи биомеханики дыхательных движений = Methodology for Assessing Lung Volumes Based on Recording the Biomechanics of Respiratory Movements / И. И. Ревинская, П. В. Камлач // Доклады БГУИР. – 2023. – Т. 21, № 6. – С. 92–98*

3. *NumPy: фундаментальная библиотека для научных вычислений в Python [Электронный ресурс]. – Режим доступа: numpy.org.*

4. *Matplotlib: Visualization with Python [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://matplotlib.org.*

5. *Motion magnification algorithms for video-based breathing monitoring.Biomedical Signal Processing and Control. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: scikit-learn.org.*

6. *Методы компьютерного зрения в медицинской диагностике: современное состояние и перспективы [Электронный ресурс].*

7. *OpenCV: Open Source Computer Vision Library [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://opencv.org*

UDC 616-78

SOFTWARE FOR VISUALIZATION OF EXTERNAL RESPIRATION PARAMETERS USING NEURAL NETWORK ALGORITHMS

Kovalenko A.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Revinskaya I.I. – Senior lecturer of the department of ETT

Annotation. The paper presents a software system for visualization and analysis of external respiration parameters based on patient video processing. The proposed approach combines computer vision techniques and neural network algorithms for body segmentation and respiratory motion analysis.

Keywords: external respiration, neural networks, computer vision, video analysis, respiratory parameters, data visualization.

СЕКЦИЯ
«ИНЖЕНЕРНАЯ ПСИХОЛОГИЯ И ЭРГОНОМИКА»

УДК 331.101.1:004.774

СТУДЕНЧЕСКИЙ ЛИТЕРАТУРНЫЙ ФОРУМ И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Билида Е.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Ильясова М.С. – магистр, ассистент кафедры ИПиЭ

Аннотация. В статье рассматривается проектирование веб-приложения для студентов БГУИР, интегрирующего базу знаний, ИИ-рекомендации и систему бронирования книг. Разработан комплекс эргономических требований по свойствам «Управляемость» и «Освояемость» на основе стандартов СЧКС. Результатом работы является обоснование проектных решений для создания интуитивно понятного интерфейса, оптимизирующего образовательную деятельность в университете.

Ключевые слова: веб-приложение, студенческий литературный форум, эргономические требования

Введение. В современной образовательной системе ключевым вызовом является эффективная работа с информацией и развитие навыков критического мышления. Несмотря на обилие цифровых ресурсов, студенты зачастую сталкиваются с разрозненностью источников знаний, сложностью поиска релевантной учебной литературы и отсутствием интерактивной среды для осмысленного обсуждения прочитанного. Актуальность данной темы заключается в создании целостного цифрового решения, которое не просто предоставляет доступ к книгам, но и формирует вокруг них активное академическое сообщество и популяризирует чтение.

Целесообразность создания проектируемой системы – веб-приложения «Студенческий литературный форум» – заключается в синтезе трех ключевых элементов: сообщества (площадка для обсуждения и рецензирования), базы знаний (структурированные подборки по предметам) и практического инструмента (персонализированные рекомендации с использованием искусственного интеллекта и прямое бронирование в библиотеке БГУИР).

Основная часть. На основании анализа предметной области и целевой аудитории проектируемого приложения выявлены назначение и основные задачи веб-приложения. Система предназначена для популяризации литературы и повышения эффективности обучения путем создания единой платформы, которая объединяет сообщество читателей, персонализированные рекомендации, подборки литературы и упрощенный процесс бронирования книг из библиотеки БГУИР.

К основным задачам системы относятся:

1 Создание площадки для обсуждения и рецензирования литературы.

2 Формирование базы знаний в виде структурированных подборок и рецензий по предметам.

3 Обеспечение персонализированных рекомендаций по литературе с помощью искусственного интеллекта.

4 Интегрирование процесса поиска литературы с системой бронирования в библиотеке БГУИР.

5 Информирование студентов о мероприятиях, связанных с книжной тематикой.

Основные функции проектируемого веб-приложения представлены в виде диаграммы вариантов использования на рисунке 1.

Эргономика системы «человек-компьютер-среда» (СЧКС) [1] направлена на обеспечение эффективного, безопасного и комфортного взаимодействия пользователя с веб-приложением. Разработка требований основана на анализе потребностей целевых пользователей и направлена на достижение высокого уровня юзабилити. В качестве основы для формирования требований выбраны ключевые эргономические свойства: «Управляемость» и «Освояемость».

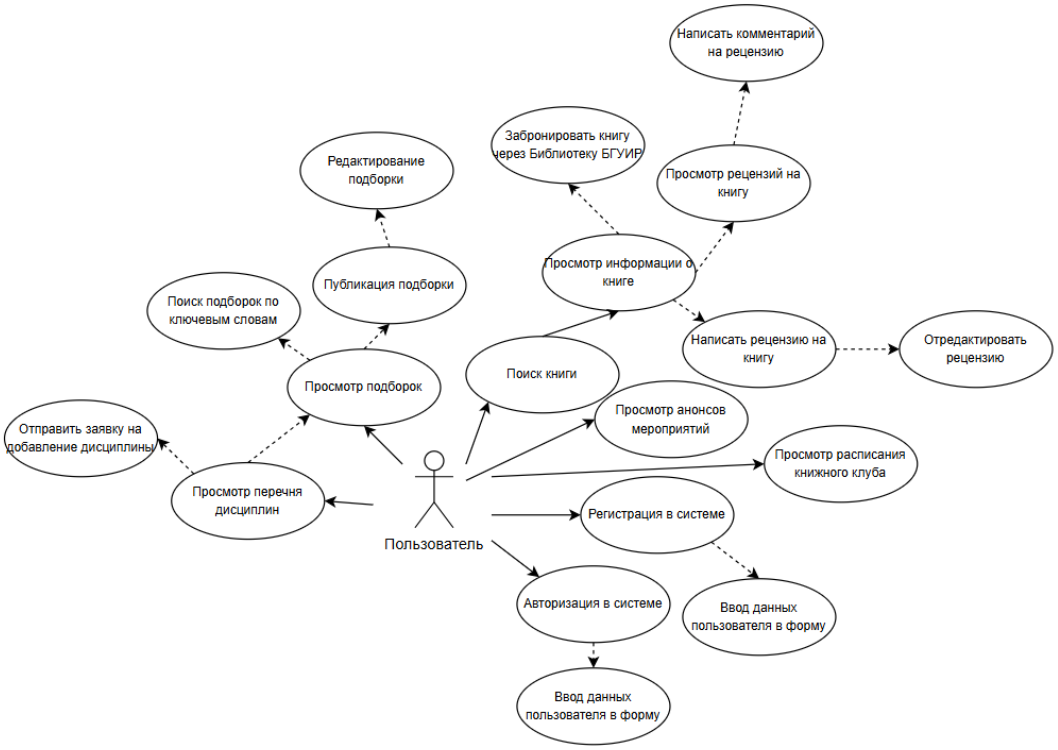


Рисунок 1 – Диаграмма вариантов использования

Цель разработки эргономических требований – обеспечить эффективное, безопасное и комфортное взаимодействие пользователя с системой. Для системы были разработаны эргономические требования, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Эргономический требования к СЧКС

Группа ЭТ	**Номенклатура ЭТ**
Эргономическое свойство «Управляемость»	
Психологические	– Наличие указаний на проблемы, возникающие в процессе работы (всплывающие уведомления об ошибках) – Наличие предупреждений о нежелательных последствиях действий (при удалении рецензии всплывает диалоговое окно подтверждения) – Расположение схожих элементов в одних и тех же местах (кнопки расположены в одних и тех же местах интерфейса в модальных окнах) – Отсутствие неоднозначного толкования команд, кнопок (названия команд и кнопок должны иметь единственную трактовку) – Соответствие компоновки элементов управления стереотипам деятельности (кнопка «Войти» находится в форме авторизации) – Наличие индикации хода выполнения функции (обратной связи)
Психофизиологические	– Соответствие размеров и контраста текста оптимальным значениям (минимальный угловой размер должен составлять 30-40', контрастность текста (разница в яркости между цветом текста и фона) относительно фона должна соответствовать стандарту *WCAG* [2]. – Соответствие цветовых решений стереотипам восприятия (красный цвет – отмена действий, зеленый – успешное действие) – Визуальное разделение смысловых блоков информации
Эргономическое свойство «Освояемость»	
Психологические	– Наличие подсказок о следующих шагах работы в системе – Наличие встроенной справки и пояснений к элементам интерфейса (всплывающая подсказка при наведении) – Логичная иерархическая структура информации (четкая иерархия меню, пользователь всегда понимает, где находится) – Соответствие терминологии целевой аудитории

Таким образом, разработанный комплекс эргономических требований к системе «Студенческий научно-литературный форум» охватывает ключевые аспекты взаимодействия пользователя с интерфейсом. Соблюдение данных требований на этапах проектирования и

реализации позволит создать интуитивно понятный, предсказуемый и комфортный для использования продукт [3], что напрямую способствует достижению главной цели проекта – повышению вовлеченности студентов и эффективности их научно-литературной деятельности.

Особенностью проектируемого веб-приложения является система персонализированных рекомендаций на базе искусственного интеллекта. Для внедрения данной технологии был выбран гибридный подход [4], комбинирующий два алгоритма машинного обучения для повышения точности и эффективности рекомендаций. Метод коллаборативной фильтрации используется для анализа поведения пользователей и поиска книг, понравившихся людям со схожими интересами. Контентная фильтрация позволяет анализировать метаданные оцененных пользователем книг (жанр, автор, ключевые слова).

Заключение. В результате разработан проект веб-приложения «Студенческий литературный форум», объединивший площадку для обсуждения литературы, базу знаний по учебным дисциплинам и персонализированные рекомендации. Разработанные эргономические требования адаптированы под специфику образовательной платформы и целевую аудиторию – студентов вуза. Практическая ценность работы заключается в создании готового к внедрению перечня требований, соблюдение которых приведет к созданию веб-приложения с интуитивным интерфейсом и функционалом, закрывающим основные требования пользователя.

Список литературы

1. *Шупейко, И.Г. Эргономическое проектирование систем «человек-машина» / И.Г. Шупейко. – Минск: БГУИР, 2017. – 80 с.*
2. *WCAG 2 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.w3.org/WAI/standards-guidelines/wcag/. Дата доступа: 20.01.2026.*
3. *Норман, Д.А. Дизайн привычных вещей / Д.А. Норман. – Москва Манн, Иванов и Фербер, 2021. – 384 с.*
4. *Рекомендательные системы: как ML-инженеры создают персонализированный опыт? [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://simulative.ru/blog/rekomendatelnie-sistemi-kak-ml-inzheneri-sozdayut. Дата доступа: 20.01.2026.*

UDC 331.101.1:004.774

STUDENT LITERATURE FORUM AND ITS ERGONOMIC REQUIREMENTS

Bilida E.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Ilyasova M.S. – Master of Sci., assistant of the department of EPE

Annotation. The article presents the design of a web application for BSUIR students, integrating a knowledge base, AI-powered recommendations, and a book reservation system. A set of ergonomic requirements based on «Manageability» and «Learnability» properties has been developed in accordance with HCS (Human-Computer-System) standards. The study results in the substantiation of design solutions aimed at creating an intuitive interface to optimize educational activities within the university.

Keywords: Web app, student literature forum, ergonomic requirements

УДК [004.4:004.62]

ELASTICSEARCH. ПЕРЕХОД К NOSQL РЕШЕНИЯМ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ЭФФЕКТИВНОГО ПОИСКА В БОЛЬШИХ ДАННЫХ

Бабич А.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Давыдович К.И. – ассистент кафедры ИПиЭ, магистр тех. наук

Аннотация. Рассмотрено применение Elasticsearch в качестве средства полнотекстового поиска и NoSQl-хранилища. Представлено описание работы инверсированного индекса и алгоритма ранжирования BM25. Освещены механизмы управления релевантностью поисковой выдачи и повышения возможностей: использование синонимов, корректировка опечаток, автодополнение поискового запроса. Приведено сравнение Elasticsearch по критериям производительности, масштабируемости и согласованности данных с классическими SQL решениями на примере PostgreSQL

Ключевые слова: полнотекстовый поиск, большие данные, скорость поиска, анализ логов, NoSQL, Elasticsearch.

Введение. В связи с ростом темпов цифровизации, а, следовательно и постоянным увеличением количества информации, представленной в электронном виде, появилась проблема её потребления, связанная с невозможностью обработки стремительного потока данных человеком. Для решения этой проблемы необходимо использовать специальные средства хранения и обработки, которые позволят с гибкостью управлять поиском и агрегацией информации для её анализа. В качестве такого универсального инструмента можно использовать Elasticsearch.

Основная часть. Сердцем работы эффективного поиска Elasticsearch является механизм индексации. Индекс – это основная единица хранения в Elasticsearch. Он представляет собой набор документов, однозначно идентифицированных именем или псевдонимом [1]. Его можно сравнить с таблицей из реляционных баз данных, но в свою очередь реализован куда сложнее, хотя и скрытно от пользователя. Индекс по факту является логической сущностью, с которой работает пользователь, объединяющей несколько его частей под одним именем. Каждая такая часть называется шардом и представляет собой отдельный поисковой движок. Запрос к индексу транслируется к каждой его части и после происходит конкатенация результатов. Шарды делятся на два вида первичные и реплики, служащие для отказоустойчивости и распределения read-нагрузки. Документ, так называется единица данных, попадая в индекс проходит процесс индексации, каждое текстовое поле проходит два шага [2]:

1 Tokenization – разбиение текста на более мелкие фрагменты (токены).

2 Nomalization – нормализует токены к стандартному виду, что позволяет сопоставлять похожие токены с поисковым запросом.

В результате образуется обратный индекс, каждый токен сопоставляется со списком документов, в которых он содержится.

Чем гибче инструмент поиска, тем более расплывчатые данные он может дать, в связи с этим необходимо разбивать данные по их релевантности. Elasticsearch использует для этого алгоритм BM25, использующий в своей основе следующие параметры: частота токена в документе, обратная частота токена во всех документах, отношение среднего размера документа к текущему.

Рассказав об основах строения и работы Elasticsearch можно перейти к его основной функции, а именно гибкий поиск. В качестве инструментов для гибкого поиска можно выделить: синонимы, автодополнение, коррекция опечаток, а так семантический поиск.

Синонимы позволяют связать различные токены друг с другом, в результате чего оба токена ведут на документ, содержащий хотя бы одного из них. Используется два

взаимозаменяемых принципа построения синонимов: на этапе индексации (предъявляет увеличенные требования к размеру индекса) и на этапе поискового запроса (позволяет более гибко работать с синонимами, но увеличивает время обработки запроса).

Автодополнение можно разделить на два вида: использование префикса (поиск по началу токена), основывается на дереве префиксов, и предложения, то есть Elasticsearch предлагает пользователю возможное продолжение слова в зависимости от хранящихся токенов в индексе.

Включение исправления опечаток (неточный поиск) при поиске по полям документа, чей формат поддерживает данную функцию, позволяет находить токены незначительно отличающиеся (на пару букв в зависимости от длинны слова).

Семантический поиск, позволяет по средством подключения моделей искусственного интеллекта преобразовывать текст в вектора и искать максимально схожий по смыслу текст, который значительно отличается в лексико-грамматическом плане.

Данные механизмы значительно упрощают поисковые операции человеку, который теперь может найти результаты среди большого количества данных, зная лишь общую направленность необходимой ему информации.

Пользователь может захотеть отдать приоритет тому или иному документу, по определенным признакам. Для решения этой проблемы используются механизмы управления релевантностью. Самый простой из них это boosting, позволяющий повысить ценность отдельной части поискового запроса, и function scope, повещающий scope (оценка релевантности) у документов, соответствующих некому условию.

Рассмотрим причины перехода к решениям NoSQL формата для поиска и работы с большими данными:

1 Гибкость хранения. Не смотря на более высокую сложность организации Elasticsearch не выдвигает строгих требований к постоянству форматов документов. Что особенно важно при работе с логированием, когда формат логов может меняется в зависимости тот источника и времени. В том числе для работы с логированием имеются удобные функции для агрегирования.

2 Дружелюбность управления. Классические реляционные базы данных требуют знания sql языка, что повышает требования к администраторам. Elasticsearch предлагает использование Kibana – интерфейса для запроса, анализа, визуализацией и управления данными, хранящимися в Elasticsearch [3].

3 Высокая производительность. На относительно небольшой выборке данных реляционные системы не отстают, а иногда и обгоняют по производительности NoSQL решения, но если говорить о больших данных, то различия становятся существенными. Приведем сравнительную характеристику Elasticsearch и реляционной базой данных PostgreSQL (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Сравнительная характеристика Elasticsearch и PostgreSQL.

	Elasticsearch	**PostgreSQL**
Количество записей	100M+	<10M
Время полнотекстового поиска (10M записей)	80-200 мс	20-40 мс
Время агрегаций (10M записей)	300-800 мс	80-150 мс

Однако Elasticsearch имеет свои минусы, вызванные более сложной архитектурой, и не может стать основным хранилищем информации. Он требует более сложной стартовой настройки, не поддерживает механизм транзакций, что плохо сказывается на согласованности данных, а данные попадают в индекс лишь спустя определенное время.

На практике применяется следующий вариант совместного использования реляционных баз данных, таких как PostgreSQL, и Elasticsearch. Реляционная база данных выполняет функции источника истины сохраняя ACID-свойства, а Elasticsearch используется как поисковый движок, снимая нагрузку с транзакционной базы данных. Для такой схемы необходимо разработать механизм синхронизации данных между основной базой данных и

Elasticsearch. Данный механизм возможен через Dual Write схеме, когда приложение одновременно пишет данные в обе системы, главным недостатком данного варианта является что работоспособность системы одновременно зависит и от работы реляционной и от NoSQL базы данных. Более предпочтительной схемой является Change Data Capture паттерн (см. рисунок 1). Приложение заполняет данные только в реляционной базе данных, и его работоспособность зависит только от её. Приложение прослушивает основную базу и в случае её изменения, асинхронно обновляет данные в Elasticsearch, для этого могут использоваться Debezium или Kafka Connect. Единственным минусом этого варианта является задержка между сохранением данных в основную базу и появлении их в Elasticsearch, что является допустимым на фоне значительного повышения уровня надежности.

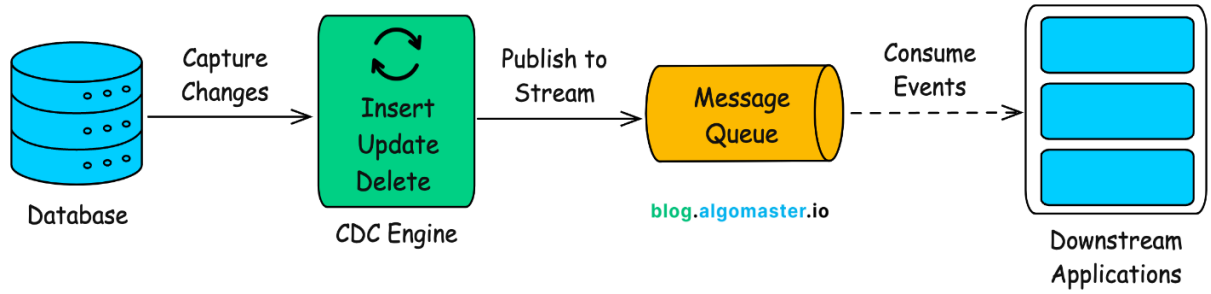


Рисунок 1 – Паттерн CDC

Заключение. Elasticsearch закрывает потребность в быстром и интеллектуальном поиске среди больших данных. Архитектура на основе шардирования и обратных индексов обеспечивает масштабируемость и отказоустойчивость. Рекомендуется использовать Elasticsearch в связке с реляционными базами данных для достижения баланса между гибкостью поиска и надежностью хранения данных.

Список литературы

1. *The Elasticsearh data store [Электронный ресурс]. – Режим доступа: htpps://elastic.co/docs/manage-data/data-store/. Дата доступа: 23.02.2026*

2. *Text analysis [Электронный ресурс]. – Режим доступа htpps://elastic.co/docs/manage-data/data-store/text-analysis. Дата доступа: 23.02.2026*

3. *Kibana [Электронный ресурс]. – Режим доступа htpps://elastic.co/kibana. Дата доступа: 23.02.2026*

UDC [004.4:004.62]

ELASTICSEARCH.TRANSITION TO NOSQL SOLUTIONS FOR ORGANIZING EFFICIENT SEARCH IN BIG DATA

Babich A.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Davydovich K.I. – Master. of Sci., Assistant at the Department of Engineering Psychology and Ergonomics

Annotation. The article examines the application of Elasticsearch as a tool for full-text search and NoSQL storage. A description of the inverted index operations and the BM25 ranking algorithm is presented. Mechanisms for managing search result relevance and enhancing capabilities are highlighted: the use of synonyms, typo correction and search query autocomplete. A comparison of Elasticsearch with classical SQL solutions using PostgreSQL as an example is provided based on performance? scalability and data consistency criteria.

Keywords: full-text search, big data, search speed, log analysis, NoSQL, Elasticsearch.

УДК 004.423

ОНЛАЙН-ПЛАТФОРМА ДЛЯ ПОДБОРА И ПОКУПКИ КНИГ

Бычек Е.Н.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Медведев О.С. – ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. Разработано веб-приложение для подбора и покупки книг на языке программирования *Java* с использованием фреймворков *Spring Boot* и *React*. Программа обеспечивает запуск веб-приложения и переход на разные страницы в операционных системах с доступом к интернету и веб-браузером.

Ключевые слова: веб-приложение, онлайн-платформа, языки программирования, *Java*, фреймворки, *Spring Boot*

Введение. В условиях активной цифровизации всех сфер деятельности книжный рынок становится одним из ключевых направлений для внедрения современных онлайн-решений. Традиционная книжная торговля, сталкиваясь с ограничениями по ассортименту и географическому охвату, все активнее дополняется и вытесняется цифровыми платформами. Разработка специализированных веб-приложений для подбора и покупки книг позволяет автоматизировать ключевые процессы – от персонализированного поиска до оформления заказа – что значительно повышает удобство для пользователей и открывает для издательств новые каналы сбыта. Подобные платформы не только упрощают доступ к литературе, но и трансформируют взаимодействие между продавцами и покупателями, способствуя развитию электронной коммерции в сфере культуры и образования.

Основная часть. При разработке веб-приложения необходимо решить следующие задачи: проанализировать предметную область, описать ее особенности и разработать функциональные и информационные модели программного средства; спроектировать архитектуру платформы, обосновать выбор технологий и компонентов, разработать пользовательский интерфейс и алгоритмы бизнес-логики; протестировать работоспособность программного средства, выявить возможные ошибки и убедиться в корректности его функционирования; подготовить руководство по установке, развертыванию и использованию платформы, обеспечив удобство администраторов и конечных пользователей.

Для создания онлайн-платформы книжного магазина выбран язык программирования *Java*, что обусловлено высокой производительностью, безопасностью, масштабируемостью и богатой экосистемой [1], фреймворк *Spring Boot*, так как он обладает высокой скоростью разработки, гибкостью и возможностью интеграции с другими технологиями, а также база данных *MySQL*, так как она представляет собой оптимальный выбор для веб-приложения кафе-кондитерской благодаря своей структуре, производительности, простоте использования и надежности [2].

Разработана даталогическая модель программы. Основные сущности базы данных включают: *users* для управления пользователями и ролями, *books* для хранения книжного каталога с детальной информацией, *genres* для классификации литературы. Ассоциативные таблицы *book_genres*, *favorites* и *cart_items* обеспечивают связи между книгами и жанрами, а также управление избранным и корзиной покупок. Система заказов реализована через таблицы *orders* с уникальными кодами и статусами выполнения, *order_items* с фиксацией цен на момент покупки, и *pickup_points* для точек выдачи. Модуль отзывов представлен таблицей *reviews* с контролем рейтинга и уникальности отзывов на книгу от каждого пользователя. Все таблицы связаны через систему внешних ключей, обеспечивающих целостность данных при операциях добавления и удаления.

При проектировании архитектуры и описании состояний программного средства составлены различные *UML*-диаграммы: вариантов использования, состояний, последовательности, классов, развертывания и компонентов [3]. Диаграмма

последовательности процесса «Добавление новой книги в корзину» представлена на рисунке 1.

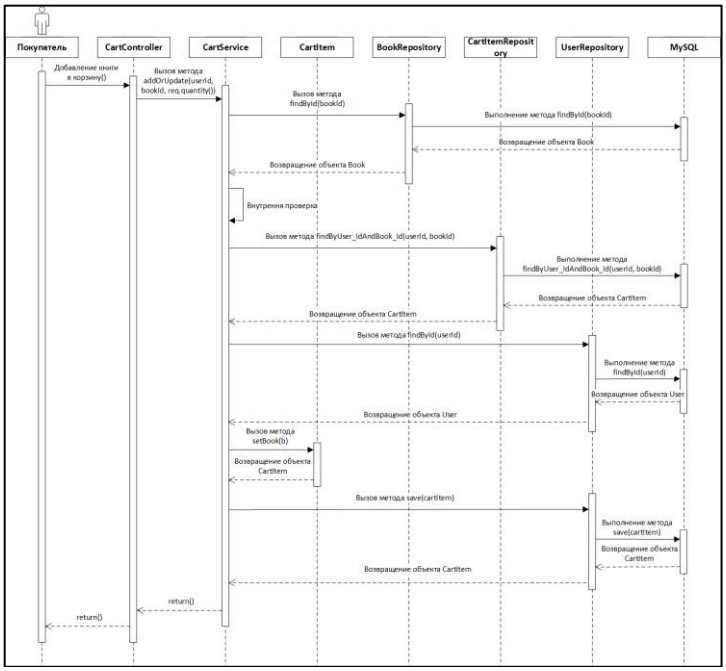


Рисунок 1 – Диаграмма последовательности процесса «Добавление новой книги в корзину»

Разработан графический интерфейс *GUI* онлайн-платформы, представляющий собой удобный способ просмотра каталога, добавления книг в корзину и избранное, оформление заказа, а также добавление и редактирование товаров для администратора и просмотр аналитики. Вкладка «Аналитика» страницы «Администратор» представлена на рисунке 2.

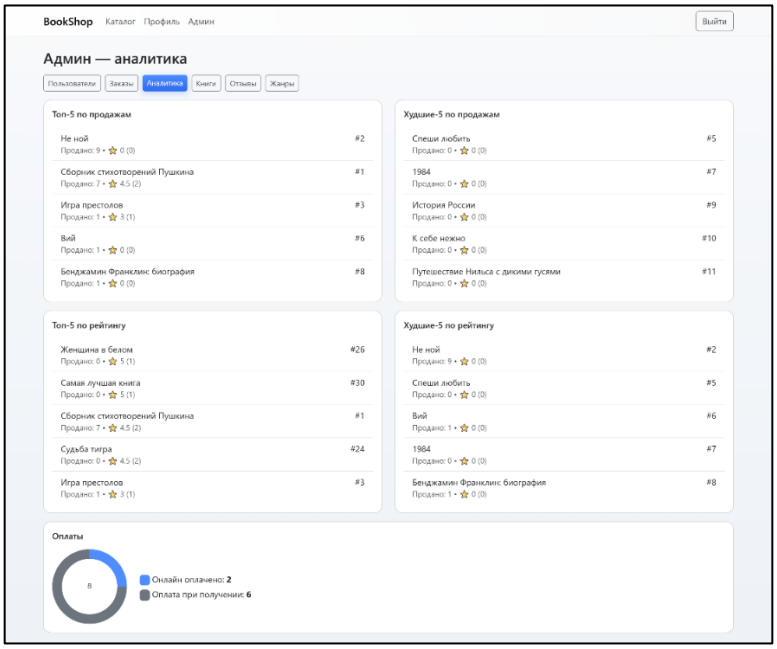


Рисунок 2 – Вкладка «Аналитика» страницы «Администратор» программного средства

Для проверки корректности обработки различных ситуаций, возникающих при регистрации пользователей и оформлении, разработаны и выполнены тест-кейсы. Также введены ограничения в системе для корректной работы программы. Например, пользователь не может два раза оставить отзыв на одну книгу, администратор не может заблокировать сам

себя и др.

Онлайн-платформа для подбора и покупки книг предназначена для автоматизации ключевых процессов: интеллектуального поиска и фильтрации каталога, управления товарами, обработки заказов и платежей, а также взаимодействия с пользователями. Для успешного внедрения и стабильной работы необходимо провести грамотную подготовку инфраструктуры, установить минимальные и рекомендуемые системные требования к серверу и клиентским устройствам.

Разработанная платформа функционирует в двух основных режимах: для конечного пользователя (читателя) и администратора. Она служит для эффективного управления книжным каталогом, пользовательскими аккаунтами и заказами. Система позволяет пользователям легко осуществлять персонализированный поиск книг, знакомиться с детальной информацией и отзывами, формировать заказы, оплачивать их онлайн и управлять личным кабинетом. Администраторы, в свою очередь, получают инструменты для полного контроля над ассортиментом, анализа продаж, управления клиентской базой и обработки заказов. Благодаря интуитивно понятному интерфейсу, четкому разделению ролей и обеспечению безопасности данных через систему аутентификации и авторизации, платформа демонстрирует высокую надежность и удобство использования.

Заключение. Разработана онлайн-платформа, автоматизирующая управление книжным каталогом, обработку заказов и взаимодействие с пользователями. Решение обеспечивает интуитивно понятный интерфейс и единое хранилище данных, что ведет к существенной экономии времени для обеих сторон – администраторов и покупателей – и повышает общую эффективность информационных процессов. Проектирование системы было детализировано с помощью набора *UML*-диаграмм (классов, вариантов использования, состояний).

Платформа организована по ролевому принципу, позволяя администраторам и пользователям работать в общей среде с разным набором функций. Администраторы управляют контентом, запасами и заказами через специализированную панель, а пользователи получают легкий доступ к поиску, выбору и покупке книг через адаптивный клиентский интерфейс.

Список литературы

1. *Сравнение Python, JavaScript и Java [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://dzen.ru/a/ZVzpAPjfHF5g2bQw. – Дата доступа: 10.02.2026.*

2. *Сравнение современных СУБД [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://drach.pro/blog/hi-tech/item/145-db-comparison. – Дата доступа: 10.02.2026.*

3. Что находится между идеей и кодом? Обзор 14 диаграмм UML [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://habr.com/ru/articles/508710/. – Дата доступа: 10.02.2026.

UDC 004.423

WEB APPLICATION FOR AUTOMATION OF WORK OF A CAFE-CONFECTIONERY

Bychek E.N.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Medvedev O.S. – senior lecturer of the department of EPaE

Annotation. A web application for book selection and purchase has been developed using the Java programming language with the Spring Boot and React frameworks. The application ensures the launch of the web application and navigation between different pages in operating systems with internet access and a web browser.

Keywords: web application, online platform, programming languages, Java, frameworks, Spring Boot

УДК 004.418

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПЛАНИРОВАНИЯ И МОНИТОРИНГА КОНЦЕПЦИИ ЛИЧНОСТНОЙ ПРОГРАММЫ ПО ПОВЫШЕНИЮ ПРИВЕРЖЕННОСТИ К ЗДОРОВОМУ ОБРАЗУ ЖИЗНИ

Долголев И.Э.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Цявловская Н.В. – магистр технических наук, ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. В статье представлена разработка информационной системы, которая помогает пользователю планировать и ежедневно контролировать личностную программу здорового образа жизни через четыре функциональных модуля: мониторинг питания (продукты, калории, макроэлементы), мониторинг сна (длительность и стабильность времени сна), мониторинг тренировок (выбор программы и отметка ее выполнения) и мониторинг отказа от вредных привычек (цель и ежедневная фиксация успешного выполнения). Структура системы опирается на данные о распространенности и востребованности приложений для здоровья, а также на результаты исследований, в которых цифровые технологии использовались для контроля факторов риска, связанных с питанием и физической активностью. В качестве обоснования отдельного раздела для мониторинга сна использованы данные о связи длительности сна с гемодинамическими показателями у взрослого населения.

Ключевые слова: информационная система, здоровый образ жизни, самоконтроль, питание, сон, тренировки, отказ от вредных привычек, эргономика.

Введение. Разработка информационной системы для планирования и мониторинга концепции личностной программы по повышению приверженности к здоровому образу жизни обоснована тем, что мобильные приложения из категории «здоровье» популярны среди аудитории [1]. Эти приложения либо предоставляют функционал по отслеживанию лишь одной области здорового образа жизни, например только спорт или только питание, либо являются платными для пользователя, что уменьшает доступность для широкой аудитории. Разработанная информационная система объединяет в себе функции по планированию и отслеживанию питания, занятий спортом, режима сна и отказа от вредных привычек, а монетизация осуществляется за счет рекламы внутри приложения от юридических лиц.

Основная часть. Разработка информационной системы обусловлена объединением различного функционала приложений для сбережения здоровья в рамках одной эргономичной системы и широкой доступностью, т.к. приложение бесплатно для пользователя. Разработанная информационная система позиционируется как единый «личностный план» с ежедневным мониторингом, в результате которого пользователь контролирует четыре раздела: режим питания (продукты, калории, макроэлементы), режим сна и его длительность, программу тренировок (возможность выбрать программу и отмечать выполнение), отказ от вредных привычек (выбор цели и ежедневные отметки успешного выполнения).

Результаты поиска показывают, что пользователи чаще всего массово скачивают приложения из группы «Фитнес и здоровый образ жизни», по отдельным позициям в этой группе зафиксировано более 1,2 млрд установок, а суммарно по группе – около 1,256 млрд установок [1]. Следовательно, можно выделить пользовательское требование, что интерфейс должен поддерживать ежедневное «быстрое» действие пользователя и показывать видимый прогресс по повышению приверженности к здоровому образу жизни, в ином случае приложение остается невостребованным.

Логика планирования режима питания, программы тренировок, режима сна и избавления от вредных привычек в системе привязана к режиму дня, прогресс выполнения цели отражается параллельно. Это сделано, чтобы пользователь видел разницу между поставленной

целью мониторинга и реальными действиями и результатами. На рисунке 1 представлены основные функции работы пользователя.



Рисунок 1 – Диаграмма вариантов использования

Для модуля «Режим питания» важен практический опыт контроля с помощью информационных систем пищевого поведения у целевой аудитории без хронических заболеваний. Согласно 6-месячному мониторингу, проведенному среди 38 студентов-медиков с ИМТ >25 кг/м², коррекция питания и физической активности выполнялась через мобильное приложение «Доктор ПМ» без участия медицинских специалистов, по результатам которого у 77,7% участников были скорректированы пищевые привычки [2]. В разрабатываемой информационной системе данные, указываемые пользователем, обрабатываются в виде «дневника питания» с понятными индикаторами (калории, макроэлементы), благодаря чему элементы, имеющие схожее значение, на экране организованы по группам. Также в этом разделе пользователь может корректировать и обновлять меню, рассчитать приблизительное количество калорий и макроэлементов на 100 грамм продукта.

Раздел «Программа тренировок» в системе использует выбранный либо созданный пользователем набор упражнений как повторяющееся расписание и имеет функцию напоминания обязательного контроля и фиксирования выполнения задания, чтобы отслеживать конкретный процент выполненных физических упражнений за неделю. Анализ аналогичных приложений показывает, что фитнес-направление имеет максимальную популярность среди групп приложений для сбережения здоровья [1].

Раздел «Режим сна» в системе построен на основе измеряемых параметров: режим, график и длительность сна, с целью удержания стабильной продолжительности в диапазоне 7-8 часов. Именно такая продолжительность сна оптимальна для улучшения некоторых биологических показателей здоровья человека, согласно новейшим научным исследованиям [3].

Модуль «Отказ от вредных привычек» в системе предусматривает добавление задач по ежедневному контролю – оценке результатов выполнения и статистическом анализе серии дней. При этом отсутствует список привычек как таковых, чтобы не популяризировать информацию о негативных привычках. Пользователь сам выбирает цель по выполнению этого задания в разделе. Это позволяет пользователю с помощью приложения осуществлять ежедневный контроль без акцента на напоминание существующих вредных привычек.

Благодаря многим научным исследованиям, был выявлен факт первоочередной

заинтересованности пользователей в эргономичности интерфейса [4]. Следовательно, в рамках данного проекта очень важно закладывать эргономику и сбор данных (история отметок, пропуски, динамика) как основу для последующей проверки эффективности работы приложения, не заявляя клинический эффект без проведенных валидных исследований.

Эргономика проекта сформирована на основе анализа целевой аудитории. В интерфейсе учтены требования к управляемости и легкости освоения, что повышает понятность работы пользователя с системой [5]. Психологические требования реализованы через предсказуемое поведение элементов и единые принципы выполнения действий. Психофизиологические требования нацелены на уменьшение утомляемости: обеспечены высокий контраст текста и фона, а также применены специализированные цветовые схемы [6].

С технической точки зрения серверная часть информационной системы построена на Node.js в связке с фреймворком Express, хранение данных организовано в MySQL, а клиентская часть реализована на React Native (Expo).

Заключение. Разработанная информационная система, основанная на научных исследованиях в области поддержания здорового образа жизни и современных технологиях, создает понятный ежедневный цикл «план – выполнение – прогресс», способствующий повышению приверженности здоровому образу жизни.

Список литературы

1. *Гусев А. В., Ившин А. А., Владзимирский А. В. Российские мобильные приложения для здоровья: систематический поиск в магазинах приложений [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://webiomed.ru/media/publications_files/rossiiskie-mobilnye-prilozheniia- dlia-zdorovia-sistematicheskii-poisk_yJMA3cL.pdf. Дата доступа: 07.02.2026.*

2. *Калинина А. М., Куликова М. С., Демко В. В., Момент А. В., Шепель Р. Н., Драпкина О. М. Оценка результативности применения цифровых технологий при дистанционном контроле поведенческих факторов риска у студенческой молодежи [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://doi.org/10.15829/1728-8800-2025-4368. Дата доступа: 07.02.2026.*

3. *Gafarov V. V., Gromova E. A., Tripelgorn A. N., Gagulin I. V., Sukhanov A. V., Denisova D. V., Gafarova A. V. Associations of self-assessment of sleep quality and duration with hemodynamic parameters among individuals aged 25-44 years [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.mediasphera.ru/issues/profilakticheskaya-meditsina/2025/12/1230549482025121083. Дата доступа: 07.02.2026.*

4. *Gornyi B. E., Bunova A. S., Kushunina D. V., Kulikova M. S., Kalinina A. M., Drapkina O. M. Evaluation of Russian-language mobile applications designed to support smoking cessation [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://doi.org/10.17116/profmed20222507166. Дата доступа: 07.02.2026.*

5. *Баканов, А. С. Эргономика пользовательского интерфейса: от проектирования к моделированию человеко-компьютерного взаимодействия / А. С. Баканов, А. А. Обознов. – М. : Институт психологии РАН, 2011. – 176 с.*

6. *Нильсен, Я. Веб-дизайн: книга Якоба Нильсена / Я. Нильсен, Х. Лоранжер. – СПб.: Символ-Плюс, 2017. – 512 с.*

UDC 004.418

INFORMATION SYSTEM FOR PLANNING AND MONITORING THE CONCEPT OF A PERSONAL PROGRAM TO INCREASE COMMITMENT TO A HEALTHY LIFESTYLE AND ITS ERGONOMIC SUPPORT

Dolgolyov I.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Tsyavlovskaya N. – Master of Sci., Senior Lecturer at the Department of EPE

Annotation. This article presents the development of an information system that helps users plan and daily manage a personal healthy lifestyle program through four functional modules: nutrition monitoring (food, calories, macronutrients), sleep monitoring (sleep duration and consistency), exercise monitoring (program selection and completion tracking), and habit cessation monitoring (goal setting and daily tracking of successful completion). The system's design is based on data on the prevalence and demand of health apps, as well as the results of studies using digital technologies to monitor risk factors related to nutrition and physical activity. A separate section on sleep monitoring is supported by data on the relationship between sleep duration and hemodynamic parameters in adults.

Keywords: information system, healthy lifestyle, self-control, nutrition, sleep, exercise, quitting bad habits, ergonomics.

УДК 628.46

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ РАЗДЕЛЬНОГО СБОРА ОТХОДОВ В МОСКОВСКОМ РАЙОНЕ

Фролов М.А., Кузьмич Д.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Камлач В.И. – ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. В условиях растущего экологического давления и необходимости перехода к устойчивому управлению отходами особую актуальность приобретает эффективность системы раздельного сбора мусора на локальном уровне. В данной работе проводится комплексное исследование эффективности функционирования системы раздельного сбора отходов в исследуемом районе. Анализируются три ключевых аспекта: физическая доступность контейнерных площадок для сортировки, уровень информированности населения о правилах раздельного сбора и выявление основных практических и социальных проблем, препятствующие успешному внедрению системы. На основе опросов, наблюдений и анализа существующих данных сформулированы конкретные рекомендации по улучшению инфраструктуры, повышению экологической грамотности жителей и совершенствованию взаимодействия между муниципальными органами и населением. Результаты исследования могут служить основой для разработки целевых программ по развитию экологически устойчивых практик в аналогичных городских и районных условиях.

Ключевые слова: отходы, контейнерные площадки, экология, инфраструктура, отходы

Введение. Современное общество сталкивается с растущими экологическими вызовами: увеличением объёмов твёрдых коммунальных отходов, загрязнением почвы и водоёмов, истощением природных ресурсов. В этих условиях эффективность системы раздельного сбора отходов становится ключевым фактором устойчивого развития. В данной работе проводится исследование эффективности функционирования системы раздельного сбора отходов в конкретном районе города, с фокусом на три ключевых аспекта: доступность контейнерных площадок для сортировки, уровень информированности населения о правилах и преимуществах раздельного сбора, а также выявление основных практических и социальных проблем, препятствующих её успешной реализации. Учитывая, что за последние два десятилетия объём бытовых отходов на одного жителя Беларуси вырос с 280 до почти 400 кг в год, а их состав кардинально изменился – резко возросла доля пластика, синтетической упаковки, электроники и токсичных отходов – вопрос переработки и сортировки приобретает стратегическое значение [1]. Раздельный сбор не только снижает нагрузку на полигоны, но и обеспечивает получение вторичного сырья, что способствует экономии природных ресурсов.

Основная часть. Исследование базируется на анализе текущей инфраструктуры, результатах опроса студентов БГУИР и жителей района. За основу мы возьмём Московский район города Минска, а конкретно, Студенческую деревню, а также сравнение нормативных подходов с реальной практикой.

В ходе детального картографического анализа и наблюдений было выявлено, что в непосредственной близости от общежития №4 БГУИР функционирует значительное количество контейнерных площадок для раздельного сбора отходов – их число равно семи. Все указанные на карте точки расположены в пределах шаговой доступности, что создаёт благоприятные условия для активного участия студентов в системе сортировки.

Наиболее близкая к общежитию площадка находится всего в 10–15 метрах – практически у входа, что делает её идеальной для ежедневного использования, но не соответствует требованиям ПВС, а именно, расстояние должно составлять от 20 до 100 по СНиП 2.02.01-2020 [2]. Другие площадки удалены на расстояние от 30 до 80 метров, что также соответствует комфортной пешей доступности даже при загруженном графике или в неблагоприятную

погоду. Некоторые из них расположены вдоль основных пешеходных маршрутов между жилыми зданиями и социально значимыми объектами, что дополнительно способствует их регулярному использованию.

Таким образом, с точки зрения физической доступности система раздельного сбора в районе общежития №4 БГУИР реализована достаточно эффективно: большинство площадок не выходят за рамки комфортного радиуса, а плотность размещения позволяет минимизировать барьеры для сбора мусора.

Мусорные площадки содержатся в чистоте и порядке. Отсутствие разбросанных отходов, целостность контейнеров, отсутствие запахов и накопления мусора вокруг площадок свидетельствует о системной и качественной работе служб по вывозу и утилизации твёрдых коммунальных отходов. Этот факт указывает не только на высокий профессионализм управляющих компаний, обеспечивающих регулярный и своевременный вывоз отходов, но и на развитую экологическую самосознательность местного населения, в частности, студентов и жителей района.

Несмотря на чистоту площадок, не все жители и студенты регулярно сортируют отходы – часть всё ещё смешивает мусор из-за нехватки осведомлённости или привычки. Чистота инфраструктуры не всегда означает осознанное поведение. Расположение мусорных площадок изображено на рисунке 1.

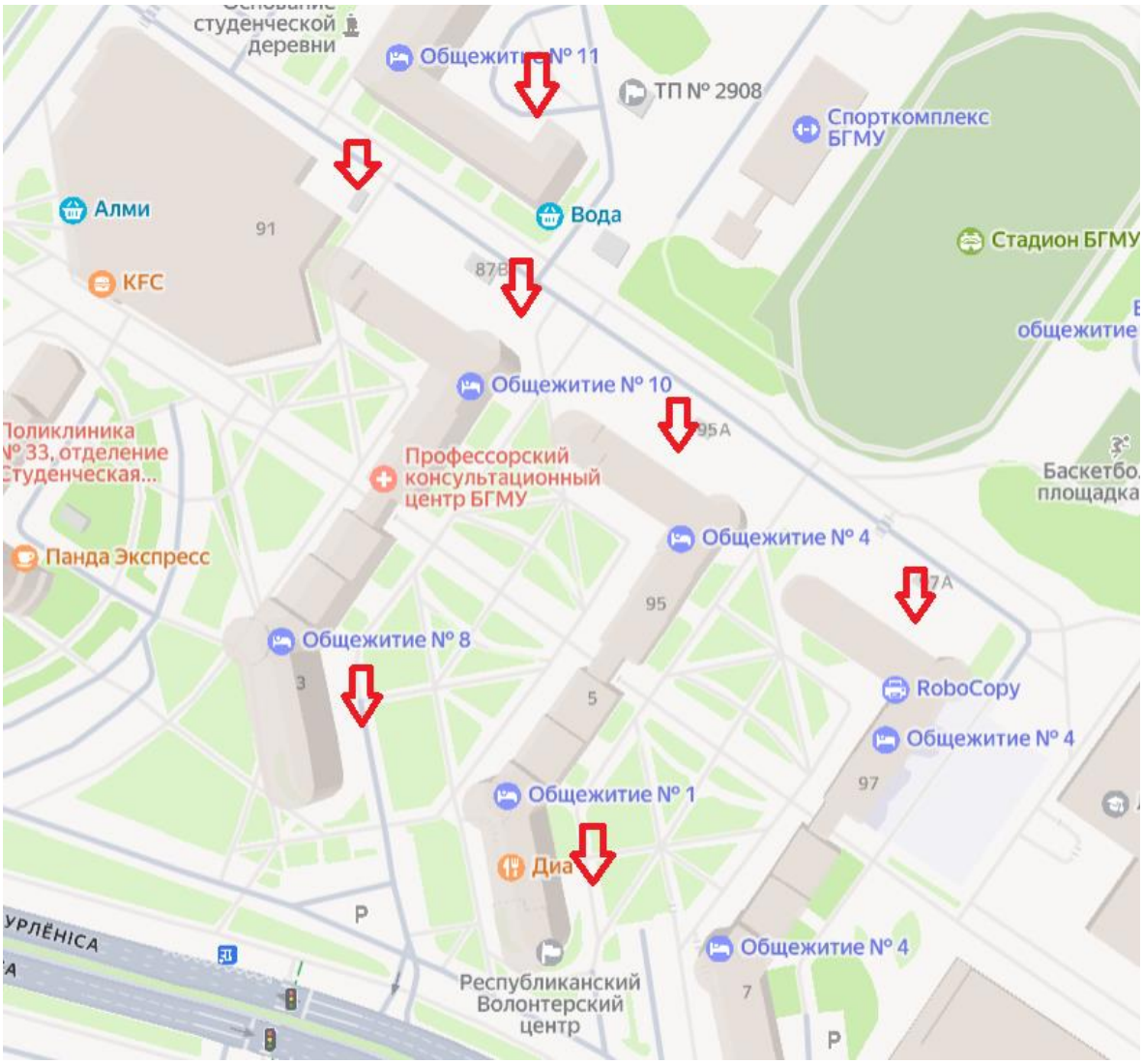


Рисунок 1 – Расположение мусорных площадок

В ходе проведённого опроса было выявлено, что студенты частично придерживаются

практики раздельного сбора отходов. Около 42% студентов регулярно собирают пластиковые бутылки и крышки для последующей переработки. Однако полностью сортировать мусор в условиях общежития они не могут, поскольку в блоках предусмотрена лишь одна общая мусорная ёмкость, и её нельзя загромождать отдельными пакетами для разных видов отходов. Вместе с тем более 60% опрошенных отметили, что в их семьях раздельный сбор мусора является распространённой практикой, что говорит о сформированном экологическом поведении, которое пока не имеет возможности полноценно проявляться в студенческой среде.

Заключение. Одной из ключевых проблем является отсутствие возможности сортировки отходов внутри общежитий: Жилищно-бытовая комиссия требует сбора всего мусора в единые пакеты, что нивелирует усилия студентов и подрывает мотивацию к раздельному сбору. Для решения этой проблемы предлагается: проводить регулярные экологические собрания с участием студентов и администрации для формирования осознанного отношения и выработки совместных инициатив; разработать совместный регламент с ЖБК, позволяющий временно хранить отсортированные отходы в личных ящиках до выноса на общую площадку – с последующим контролем со стороны студенческого самоуправления; Проводить «Неделю сбора мусора», где студенты из личной инициативы проводят соревнования по сбору пластика, и поощрять студентов, например, начислением ОПТ. Проводить конкурс стендов среди студентов, о важности сортировки мусора.

Список литературы

1. *Республика Беларусь, Министерство статистики и анализа. Статистический ежегодник Республики Беларусь 2023: Твёрдые коммунальные отходы [Электронный ресурс] // Национальный центр правовой информации Республики Беларусь. – Минск, 2024. – URL: https://belstat.gov.by/ (дата обращения: 14.11.2025).*

2. *Петрович, А. В. Экологическая эффективность раздельного сбора отходов как фактор устойчивого развития городской среды / А. В. Петрович // Экология и промышленность Беларуси. – 2023. – № 2(48). – С. 34–39. – ISSN 2307–3942.*

UDC 628.46

METAMATERIALS AND THEIR APPLICATION IN ELECTROMAGNETIC WAVE CONTROL

Frolov M.A., Kuzmich D.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Kamlach V.I. – Senior Lecturer of the Department

Annotation. Amid growing environmental pressures and the urgent need to transition toward sustainable waste management, the effectiveness of waste sorting systems at the local level has become particularly critical. This study presents a comprehensive analysis of the efficiency of the waste sorting system in the investigated district of Minsk, focusing on three key aspects: the physical accessibility of waste collection points, the level of public awareness regarding sorting rules, and the identification of major practical and social barriers hindering successful implementation. Based on surveys, field observations, and analysis of existing data, specific recommendations are proposed to improve infrastructure, enhance environmental literacy among residents, and strengthen collaboration between municipal authorities and the public. The findings of this research can serve as a foundation for developing targeted programs to promote environmentally sustainable practices in similar urban and residential areas.

Keywords: garbage, container sites, ecology, infrastructure, waste.

УДК 004.774:347.783

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ МИКРОСЕРВИСНОЙ АРХИТЕКТУРЫ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СОВМЕСТНЫХ ФОТОАЛЬБОМОВ

Глушко А.Ю.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Карпович Е.Б. – магистр техники и технологии, ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. Исследованы подходы к построению микросервисной архитектуры веб-приложения для создания совместных фотоальбомов. Рассмотрены особенности применения гибридной модели, сочетающей реактивные и синхронные (блокирующие) компоненты для разделения ответственности между слоями системы. Предложена архитектурная схема с централизованной аутентификацией и изоляцией микросервисов, где доменная логика отделена от механизмов безопасности. Продемонстрированы преимущества предложенной архитектуры.

Ключевые слова: микросервисная архитектура, реактивное программирование, Spring WebFlux, Spring Cloud Gateway, Netflix Eureka, Service Discovery, JWT, объектное хранилище, SeaweedFS

Введение. Рост популярности сервисов для совместной работы с медиаконтентом требует систем, способных обрабатывать тысячи параллельных соединений при загрузке тяжёлых данных. Традиционные синхронные архитектуры (Thread-per-request) при таких нагрузках сталкиваются с проблемой исчерпания пула потоков [1]. Основная сложность заключается в поиске баланса: необходимо обеспечить быструю авторизацию каждого запроса и эффективную передачу данных, не перегружая внутреннюю бизнес-логику.

Целью данной работы является исследование гибридной микросервисной модели, где реактивный сервис системы берёт на себя функции безопасности и управления трафиком, а синхронные (блокирующие) сервисы отвечают за сложную доменную логику.

Основная часть. Выбор архитектуры серверной части веб-приложения для создания совместных фотоальбомов состоял из классической монолитной и современной микросервисной архитектуры. При проектировании систем, работающих с большим объемом бинарных данных и множеством одновременных пользовательских сессий, данные подходы демонстрируют принципиально разные показатели производительности и масштабируемости.

Монолитная архитектура предполагает объединение логики управления пользователями, обработки альбомов и модулей загрузки контента в рамках единого процесса. Несмотря на простоту разработки на начальных этапах, такая структура затрудняет независимое масштабирование наиболее нагруженных узлов. Микросервисная архитектура, напротив, позволяет выделить критически важные компоненты в изолированные сервисы, что обеспечивает гибкость в выборе стека технологий для каждой конкретной задачи [2].

Сравнив указанные подходы, выбор был сделан в пользу микросервисной архитектуры, реализованной в виде трех функциональных модулей: двух сервисов с блокирующим вызовом (управление пользователями и управление альбомами) и реактивного API-шлюза, который одновременно является центром аутентификации. Данная декомпозиция позволяет изолировать доменную логику от механизмов обеспечения безопасности и маршрутизации трафика.

Центральным звеном архитектуры является реактивный API-шлюз, совмещающий в себе функции единой точки входа и единого центра аутентификации. Реактивный API-шлюз реализован на базе Spring Cloud Gateway с использованием фреймворка Spring WebFlux, который построен на принципах реактивного программирования и использует неблокирующий I/O. Это позволяет обрабатывать большое количество одновременных

соединений с минимальным потреблением ресурсов потоков. Остальные микросервисы реализованы на базе Spring MVC, что соответствует их назначению: синхронная блокирующая модель упрощает разработку сложной бизнес-логики и естественно интегрируется с реляционными базами данных. Таким образом, реактивность сосредоточена на уровне шлюза, где она даёт наибольший эффект при обработке входящего потока запросов.

Сервисы с блокирующим вызовом настроены на доверие исключительно токенам, выпущенным централизованной подсистемой авторизации API-шлюза. Прямое взаимодействие между ними без участия этой подсистемы блокируется, что исключает риск компрометации данных при несанкционированном доступе к одному из внутренних узлов.

Важной особенностью спроектированной архитектуры является использование паттерна Service Discovery, реализованного на базе Netflix Eureka. В условиях динамического масштабирования, когда экземпляры сервисов могут менять свои сетевые адреса, Eureka выступает в роли центрального реестра. Это позволяет API-шлюзу автоматически обнаруживать доступные узлы сервисов пользователей и альбомов, обеспечивая балансировку нагрузки и высокую отказоустойчивость системы без необходимости жесткой привязки IP-адресов в конфигурации.

Для оптимизации работы с медиаконтентом в системе реализовано разделение потоков управления и потоков данных. Вместо ресурсоемкого хранения изображений в базе данных используется S3-совместимое объектное хранилище SeaweedFS.

Хотя само хранилище отдает файлы по прямым идентификаторам, эти идентификаторы представляют собой высокоэнтропийные непредсказуемые последовательности – UUID, а получение списка таких идентификаторов возможно только через API-шлюз после успешной верификации JWT-токена. Таким образом, даже при наличии публичного эндпоинта хранилища, злоумышленник не может получить доступ к медиаконтенту, поскольку база данных, где сопоставлены данные пользователя и ссылки на медиаконтент, надежно защищены шлюзом с JWT. Также необходимо упомянуть, что благодаря тому, что API-шлюз при обработке запроса возвращает фронтенд-приложению прямые идентификаторы на объекты в бакетах S3-совместимого хранилища, нагрузка по передаче бинарного трафика с серверной части значительно снижается: фронтенд самостоятельно подтягивает изображения из хранилища, используя полученные адреса.

Архитектурная схема с централизованной аутентификацией и изоляцией микросервисов представлена на рисунке 1.

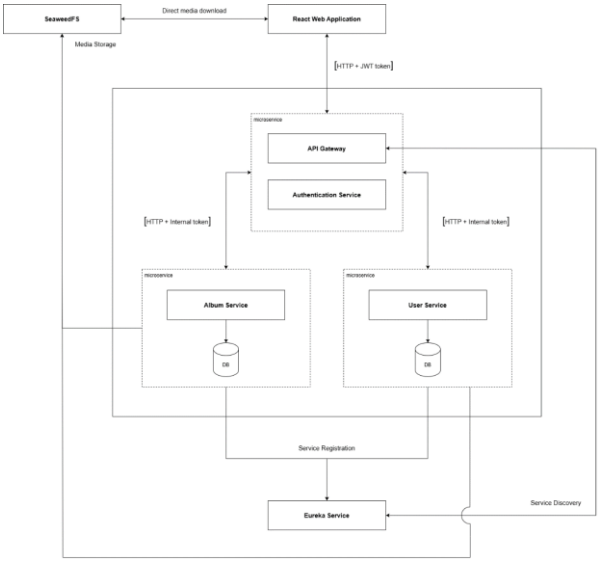


Рисунок 1 – Структурная схема веб-приложения для создания совместных фотоальбомов

Предложенная архитектура демонстрирует следующие преимущества:

1 повышенная безопасность: изоляция микросервисов с использованием внутренних токенов предотвращает цепочечную компрометацию системы при атаке на отдельный узел. По данным IBM, среднее время локализации инцидента на рынке составляет 75 дней – архитектурная изоляция позволяет сократить этот срок за счёт мгновенного отключения скомпрометированного сервиса без остановки всей системы [3].

2 гибкость масштабирования компонентов системы: каждый микросервис может развиваться независимо от других. По данным Global Market Insights, 86% организаций отмечают, что микросервисы действительно улучшают масштабируемость систем [4].

3 снижение деградации БД: вынос медиаконтента в S3-хранилище предотвращает раздувание страниц данных и индексов. Хранение объектов >1 МБ вне БД исключает загрязнение буферного пула крупными бинарными данными, сохраняя высокую скорость выполнения транзакционных запросов [5].

Заключение. В рамках данной работы исследована гибридная микросервисная архитектура веб-приложения для создания совместных фотоальбомов. Предложенная архитектура системы включает реактивный API-шлюз на базе Spring Cloud Gateway и два сервиса с блокирующим вызовом на Spring MVC, обеспечивающих управление пользователями и фотоальбомами.

Применение паттерна Service Discovery на базе Netflix Eureka обеспечивает динамическое обнаружение сервисов и автоматическую балансировку нагрузки. Централизация логики безопасности в API-шлюзе позволяет единообразно управлять аутентификацией для всех компонентов системы.

Гибридный подход подтверждает возможность оптимального сочетания реактивного программирования для задач маршрутизации и аутентификации с синхронной моделью для реализации сложной доменной логики.

Список литературы

1. *Why Reactive? Thread per Request vs. Reactive Programming Model (Eventloop) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://medium.com/walmartglobaltech/thread-per-request-vs-7bf1f22f590. – Дата доступа: 09.02.2026.*

2. *Monolith to Microservices. Evolutionary Patterns to Transform Your Monolith / S. Newman – Sebastopol : O'Reilly Media, Inc., 2019. –255 p. – ISBN 978-1-492-04784-1.*

3. *Monoliths to Microservices: 4 Modernization Best Practices [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://vfunction.com/blog/monoliths-to-microservices-4-modernization-best-practices/. – Дата доступа: 20.02.2026.*

4. *Cloud Microservices Market Size & Share 2025 – 2034 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.gminsights.com/industry-analysis/cloud-microservices-market. – Дата доступа: 20.02.2026.*

5. *To BLOB or Not To BLOB: Large Object Storage in a Database or a Filesystem / Russell Sears / Catharine van Ingen1 / Jim Gray – Microsoft Corporation, 2006. – 11 p.*

UDC 004.774:347.783

FEATURES OF BUILDING A MICROSERVICE ARCHITECTURE FOR A COLLABORATIVE PHOTO ALBUMS WEB APPLICATION

Hlushko H.Y.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Karpovich E.B. - master of engineering and technology, senior lecturer of the Department of EPE

Annotation. Approaches to building a microservice architecture for a collaborative photo albums web application have been studied. The features of applying a hybrid model that combines reactive and synchronous components to separate responsibilities between system layers are considered. An architectural scheme with centralized authentication and microservice isolation is proposed, where domain logic is separated from security mechanisms. The advantages of the proposed architecture are demonstrated.

Keywords: microservice architecture, reactive programming, Spring WebFlux, Spring Cloud Gateway, Netflix Eureka, Service Discovery, JWT, object storage, SeaweedFS

УДК 004.774:35.087.44 (476)

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СТРАХОВАНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ НА БАЗЕ SPRING FRAMEWORK

Говша Ю.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Щербина Н.В. – ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. В статье рассматривается процесс разработки веб-приложения для автоматизации контроля страховых обязательств на предприятиях Республики Беларусь. Целью разработки является создание специализированной системы для учета договоров страхования сотрудников и имущества, мониторинга сроков их действия, расчета страховых удержаний и формирования отчетности. Проведен анализ предметной области и существующих аналогов, на основе которого сформулированы функциональные требования и выделены роли пользователей (администратор, страховой агент, сотрудник). Описана модульная структура приложения. Разработка выполнена с использованием языка Java, фреймворка Spring, библиотеки React и СУБД MySQL. Разработанное решение позволяет повысить эффективность управления страховыми процессами и снизить риски, связанные с несвоевременным продлением договоров.

Ключевые слова: веб-приложение, контроль страхования, страховые договоры, Java, Spring Framework, React, MySQL.

Введение. Современные организации сталкиваются с необходимостью контроля выполнения требований, установленных законодательством Республики Беларусь в отношении объектов страхования. Страхование – это защита от рисков, связанных с имущественными интересами страхователя, осуществляемая страховщиком за вознаграждение [1]. В соответствии с законодательством основной функцией страхования является обеспечение финансовой защиты имущественных интересов, жизни и здоровья страхователей при наступлении различного рода неблагоприятных событий [2].

В деятельности организаций страхование является одним из важнейших элементов системы управления охраной труда и безопасностью. Необходимость разработки специализированного веб-приложения, обеспечивающего контроль страховых обязательств, обусловлена тем, что процессы учета страхования включают значительный объем данных, множество взаимосвязанных участников и требуют постоянного мониторинга сроков действия договоров. Разработка и внедрение специализированного веб-приложения для контроля страхования на предприятиях Республики Беларусь позволит обеспечить централизованное хранение данных, автоматический мониторинг сроков действия договоров, прозрачный расчет страховых удержаний и удобный интерфейс для всех участников процесса.

Основная часть. В условиях цифровизации управленческих процессов предприятия Республики Беларусь используют различные программные решения для автоматизации бухгалтерского учета, кадрового администрирования, документооборота и финансового контроля. Вместе с тем специализированные информационные системы, ориентированные именно на контроль страховых обязательств работников и объектов страхования внутри предприятия, представлены ограниченно.

Для выявления степени автоматизации процессов учета страхования на предприятиях проведен анализ существующих программных продуктов, применяемых в Республике Беларусь. В качестве аналогов рассмотрены:

– Галактика ERP;
– 1С:Зарплата и управление персоналом 8 ПРОФ для Беларуси;
– BRG: Страховая компания 8.3 КОРП для Беларуси.

Анализ существующих программных решений показал, что представленные на рынке информационные системы либо ориентированы на комплексную автоматизацию предприятия, либо предназначены для расчета заработной платы и страховых взносов, либо используются страховыми компаниями. Ни одна из рассмотренных систем не обеспечивает специализированного комплексного контроля страховых обязательств предприятия в рамках единой информационной среды, адаптированной под внутренние процессы организации.

В разрабатываемом веб-приложении предполагается функционирование трех основных категорий пользователей: сотрудник, страховой агент и администратор. Каждая из указанных ролей имеет свои особенности функций в зависимости от информационных потребностей. Каждая из ролей обладает строго определенным набором полномочий, реализуемых посредством механизма разграничения прав доступа. Роли пользователей системы представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Роли пользователей системы

Роль	**Описание**
Администратор	Обеспечивает функционирование системы на уровне всех организаций и отвечает за корректность ее настройки. обладает расширенными правами доступа и обеспечивает соблюдение требований безопасности и функционирование системы в целом
Страховой агент	Осуществляет контроль страхования в пределах конкретной организации. Его деятельность связана с обработкой заявок сотрудников, оформлением договоров и формированием отчетности. Он выступает связующим звеном между сотрудниками и системой администрирования страхования
Сотрудник	Является застрахованным лицом и непосредственным участником процесса страхования в рамках своей организации. Взаимодействует с системой для решения личных страховых вопросов: просмотра личных договоров, подачу заявок на страхование, контроль удержаний из заработной платы

Для удовлетворения информационных потребностей всех типов пользователей веб-приложения, необходимо выделить следующие модули в его структуре:

1 Модуль аутентификации, авторизации и управления пользователями. Обеспечивает идентификацию пользователей, разграничение прав доступа на основе ролей, а также функции управления учетными записями.

2 Модуль управления организациями. Реализует функционал по созданию и редактированию карточек организаций-клиентов, назначению страховых агентов и учету принадлежности сотрудников.

3 Модуль управления объектами страхования. Предназначен для ведения реестра объектов, подлежащих страхованию, и отслеживания их текущего страхового статуса.

4 Модуль управления сотрудниками. Предназначен для контроля сотрудников организации и их статусов страхования.

5 Модуль управления тарифами. Служит для настройки и актуализации базы страховых продуктов, включая возможность их добавления, изменения параметров и архивации.

6 Модуль обработки заявок. Обеспечивает полный жизненный цикл заявок: их создание, обработку, изменение статуса и хранение истории.

7 Модуль управления договорами. Является центральным модулем системы. Он отвечает за создание договоров на основе одобренных заявок, прямое создание агентом, управление сроками их действия, продление, а также изменение статусов в зависимости от даты.

8 Модуль расчета удержаний. Автоматизирует процесс формирования данных о ежемесячных платежах по каждому действующему договору.

9 Модуль отчетности и уведомлений. Обеспечивает генерацию отчетов по заданным шаблонам и информирование пользователей о наступлении значимых событий через уведомления.

В качестве технологической основы для реализации выбран язык Java и фреймворк Spring. Spring – это фреймворк с открытым исходным кодом для языка программирования Java. Он был создан для упрощения разработки и поддержки масштабируемых, слабосвязанных и

повторно используемых приложений [3]. Для хранения данных используется MySQL – одна из наиболее используемых систем управления базами данных. MySQL управляет реляционными базами данных, то есть такими, в которых таблицы связаны между собой [4]. Обеспечивает поддержку транзакций, целостность данных и масштабируемость. Широко используется в веб-разработке и хорошо интегрируется с Java-приложениями. Пользовательский интерфейс разработан с помощью React –библиотеки для языка программирования JavaScript с открытым исходным кодом для разработки пользовательских интерфейсов, Она помогает быстро и легко реализовать реактивность – явление, когда в ответ на изменение одного элемента меняется все остальное [5].

Заключение. В рамках данной работы разработано веб-приложение для контроля страхования на предприятиях Республики Беларусь на базе Spring Framework. Веб-приложение ориентировано непосредственно на внутренние процессы предприятия и обеспечивает комплексный контроль страховых обязательств в рамках единой специализированной системы. Централизованное хранение данных, автоматический мониторинг сроков действия договоров и механизм уведомлений повышают надежность страхового контроля и снижают административные риски. Внедрение подобной системы на предприятиях Республики Беларусь позволит повысить эффективность управления страховыми обязательствами, минимизировать финансовые и административные риски.

Список литературы

1. *Что такое страхование? [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.fingramota.by/ru/guide/insurance-and-taxes/what-is-insurance?sight=true. Дата доступа:22.02.2026.*

2. *Бизнес-план развития ЗАО «СК «ЕВРОИНС» на 2024-2026 годы [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://euroins.by/ru/file/Business-plan%202024-2026.pdf. Дата доступа: 22.02.2026.*

3. *Spring [Электронный ресурс]. Режим доступа:https://blog.skillfactory.ru/glossary/spring/. Дата доступа: 24.02.2026.*

4. *Что такое MySQL [Электронный ресурс]. Режим доступа:https://help.reg.ru/support/hosting/bazy-dannykh/chto-takoye-mysql#0. Дата доступа: 25.02.2026.*

5. *React. [Электронный ресурс]. Режим доступа:https://blog.skillfactory.ru/glossary/react/. Дата доступа: 25.02.2026.*

UDC 004.774:35.087.44 (476)

WEB APPLICATION FOR INSURANCE CONTROL IN ENTERPRISES OF THE REPUBLIC OF BELARUS BASED ON THE SPRING FRAMEWORK

Housha Y.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Shcherbina N.V. – Senior Lecturer at the Department of EPE

Annotation. The article discusses the process of developing a web application to automate the control of insurance obligations at enterprises of the Republic of Belarus. The purpose of the development is to create a specialized system for accounting for insurance contracts of employees and property, monitoring their validity periods, calculating insurance deductions, and generating reports. An analysis of the subject area and existing analogues was carried out, based on which functional requirements were formulated and user roles (administrator, insurance agent, employee) were identified. The modular structure of the application is described. The development is done using Java, the Spring framework, the React library, and the MySQL DBMS. The developed solution makes it possible to increase the efficiency of insurance process management and reduce the risks associated with late renewal of contracts.

Keywords: web application, insurance control, insurance contracts, Spring Framework, Java, React, MySQL.

УДК 331.101.1:[004.774.6:37.091.212.5-057.875]

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ТЕСТИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ПОЗНАВАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ И ЕЁ ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Иванчик А.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Карпович Е.Б. – ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. В работе представлена разработка информационной системы тестирования и оценки познавательных процессов с функцией анализа данных об уровне когнитивной нагрузки в процессе диагностики. Оценка когнитивной нагрузки реализована на основе метода субъективной оценки рабочей нагрузки NASA Task Load Index (NASA-TLX) с адаптацией к образовательной среде. Реализация системы позволяет проводить статистический анализ взаимосвязи между результатами тестирования и показателями внутренней и внешней нагрузки.

Ключевые слова: веб-платформа, внутренняя когнитивная нагрузка, внешняя когнитивная нагрузка, NASA-TLX, JavaScript, React, Express.js, PostgreSQL.

Введение. Изучение познавательных процессов в совокупности с данными о когнитивной нагрузке позволяют делать более точной оценку когнитивных процессов, а также определять подходы к оптимизации процесса обучения: предотвращать умственное переутомление, снижать количество ошибок и повышать эффективность усвоения знаний.

Разработанная система представляет собой веб-платформу, в которой студенты взаимодействуют как с тестами внутри системы, так и с внешними, доступ к которым осуществляется по ссылке. После прохождения теста, студент оценивает уровень когнитивной нагрузки и при необходимости оставляет комментарий. Сбор и анализ этих данных позволяет выявлять закономерности между результатами выполнения тестов и уровнем субъективной когнитивной нагрузки, а также исследовать влияние различных факторов на успешность выполнения заданий.

Основная часть. При разработке структуры информационной системы тестирования и оценки познавательных процессов учитывались положения теории когнитивной нагрузки: в процессе выполнения учебных заданий на учащегося действуют различные типы когнитивной нагрузки, влияющие на эффективность восприятия и обработки информации [1].

Выделяют три типа когнитивной нагрузки: внутренняя, внешняя (посторонняя) и релевантная (умственная). В контексте разрабатываемой системы имеют большее значение внутренняя и внешняя когнитивная нагрузка. Внутренняя когнитивная нагрузка характеризуется сложностью самого задания и зависит от количества элементов информации и степени их взаимосвязанности [2]. Внешняя когнитивная нагрузка относиться к нагрузке, создаваемой способом представления информации (перегруженность экрана, не интуитивная навигация, неоднозначность формулировок инструкций и т.д.) и может оказывать дополнительное влияние на результаты выполнения теста [3].

В рамках разрабатываемой информационной системы реализуется модель сбора субъективной оценки когнитивной нагрузки, основанный на шкальном анкетировании после прохождения теста. Разработанный на основе методики NASA-TLX опросник предусматривает измерение воспринимаемой сложности деятельности по нескольким параметрам. В отличие от классической версии методики, в разрабатываемой системе структура шкал адаптирована к задачам оценки и тестирования познавательных процессов и разграничения внутренней и внешней когнитивной нагрузки.

Для реализации информационной системы тестирования и оценки познавательных процессов был выбран стек веб-технологий, включающий React, JavaScript, Express.js и

PostgreSQL. Данный набор обусловлен требованиями к интерактивности интерфейса, масштабируемостью системы, надежности хранения данных и удобству последующего анализа результатов. В качестве технологии разработки пользовательского интерфейса выбран фреймворк React, основанный на языке JavaScript. React позволяет реализовать динамическое отображение тестов и форм анкетирования без перезагрузки страницы, а JavaScript обеспечивает обработку пользовательских действий и взаимодействие с серверной частью посредством HTTP-запросов [4]. Серверная часть реализована на платформе Node.js с использованием фреймворка Express.js. Данный выбор обусловлен возможностью использования единого языка как для клиентской части, так и для серверной, а также эффективной обработки асинхронных запросов. Сервер обеспечивает обработку результатов тестирования, вычисление показателей внутренней и внешней когнитивной нагрузки и передачу данных для последующего анализа [5]. В качестве системы управления базами данных используется PostgreSQL, обеспечивающая надежное хранение информации и поддержку сложных аналитических запросов. Применение реляционной модели данных позволяет структурировать результаты тестирования и показатели когнитивной нагрузки, что создает основу для их статистической обработки, построения аналитических моделей и выявления зависимостей между показателями тестирования и когнитивной нагрузкой [6].

Заключение. Разработанная информационная система позволяет выявить субъективную когнитивную нагрузку, сопоставляя её с результатами тестов. Использование шкального анкетирования, адаптированного по методике NASA-TLX, обеспечивает оценку внутренней и внешней нагрузки. Применение стека React, JavaScript, Express.js и PostgreSQL обеспечивает интерактивность интерфейса, надежное хранение данных и возможность статистической обработки. Система позволяет выявлять закономерности между характеристиками тестов и уровнем когнитивной нагрузки, создавая основу для анализа и построения моделей образовательного процесса.

Список литературы

1. *Теория когнитивной нагрузки: ограничения человеческой памяти, влияющие на учебный процесс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://lala.lanbook.com/teoriya-kognitivnoj-nagruzki. Дата доступа: 24.02.2026*

2. *Путеводитель по когнитивной перегрузке [Электронный ресурс]. – Режим доступа https://habr.com/ru/articles/894788/. Дата доступа: 24.02.2026*

3. *Теория когнитивной нагрузки: почему в обучении «больше» не значит «лучше» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://skillbox.ru/media/education/teoriya-kognitivnoy-nagruzki-pochemu-v-obuchenii-bolshe-ne-znachit-luchshe/. Дата доступа: 24.02.2026*

4. *React documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://react.dev/. Дата доступа: 24.02.2026*

5. *Веб-фреймворк Express (Node.js/JavaScript) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://developer.mozilla.org/ru/docs/Learn_web_development/Extensions/Server-side/Express_Nodejs/. Дата доступа: 24.02.2026*

6. *PostgreSQL Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.postgresql.org/docs/. Дата доступа: 24.02.2026*

UDC 331.101.1:[004.774.6:37.091.212.5-057.875]

AN INFORMATION SYSTEM FOR TESTING AND ASSESSING COGNITIVE PROCESSES AND ITS ERGONOMIC SUPPORT

Ivanchyk A.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Department Karpovich E.B. – Senior Lecturer of the Department of IPiE

Annotation. The work presents the development of an information system for testing and assessing cognitive processes with the ability to analyze cognitive load data during the diagnostic process. Cognitive load assessment is based on the NASA Task Load Index (NASA-TLX) subjective workload assessment method, adapted to the educational environment. The system enables statistical analysis of the relationship between test results and intrinsic and extrinsic load indicators.

Keywords: web platform, internal cognitive load, external cognitive load, NASA-TLX, JavaScript, React, Express.js, PostgreSQL.

УДК 004.774:159.944-047.36

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СОТРУДНИКОВ И ОЦЕНКИ РИСКА ВЫГОРАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ

Изотова А.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Щербина Н.В. – ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. Рассматривается актуальность разработки веб-приложения для мониторинга психологического состояния сотрудников и оценки риска профессионального выгорания. Описывается архитектура созданного веб-приложения на основе микросервисного подхода, клиент-серверного взаимодействия и использования нейросетевых алгоритмов.

Ключевые слова: веб-приложение, мониторинг психологического состояния, профессиональное выгорание, нейросетевые алгоритмы, Python, PostgreSQL

Введение. В условиях современной экономики ключевым фактором успеха организаций становится эффективное управление человеческими ресурсами. Одним из существенных аспектов этого управления является поддержание психологического благополучия сотрудников. Наличие специализированного инструмента для мониторинга психологического состояния сотрудников позволяет организации перейти от реактивного к проактивному управлению: руководство получает возможность своевременно выявлять потенциальные риски и принимать превентивные меры. Это может выражаться в корректировке нагрузки, перераспределении задач, организации психологических помощи или изменении условий труда.

Основная часть. Разрабатываемое веб-приложение для мониторинга психологического состояния сотрудников и оценки риска профессионального выгорания реализуется как централизованная клиент-серверная информационная система, обеспечивающая сбор, хранение, обработку и аналитическую интерпретацию психоэмоциональных данных.

Программная архитектура построена по модульному принципу с логическим разделением на клиентскую часть, серверную часть, аналитический модуль (нейросетевой компонент) и подсистему хранения данных. Взаимодействие между компонентами осуществляется посредством REST API с использованием формата передачи данных JSON. Такое построение обеспечивает независимость клиентского интерфейса от серверной логики и позволяет масштабировать систему без изменения архитектурных принципов [1, 2].

В качестве технологической основы используется стек, включающий язык программирования Python для реализации серверной логики и аналитических модулей и JavaScript для разработки клиентской части. Python обеспечивает реализацию нейросетевых алгоритмов и масштабируемость системы, так как имеет большое количество библиотек и фреймворков, которые помогают в создании ML-моделей, а JavaScript позволяет создать интерактивный веб-интерфейс [3].

Клиентская часть реализована на основе HTML и JavaScript и предназначена для организации пользовательского взаимодействия с системой через веб-интерфейс. Она обеспечивает ввод данных, отображение результатов тестирования, уведомлений, визуализацию динамики состояния сотрудников, а также доступ к персональным рекомендациям. Интерфейс адаптирован к различным ролям пользователей и формирует рабочие пространства для сотрудника, психолога, руководителя и администратора [4].

Серверная часть реализована с использованием фреймворка FastAPI и отвечает за обработку запросов пользователей, управление логикой бизнес-процессов, формирование аналитических отчетов и взаимодействие с нейросетевым модулем. Серверный уровень выполняет функции маршрутизации запросов, проверки корректности входных данных, управления доступом и обеспечения безопасности обмена информацией [5].

Подсистема хранения данных реализована на базе СУБД PostgreSQL. В базе данных хранятся учетные записи пользователей, результаты анкетирования и тестирования, история изменений показателей, параметры расчета индексов риска, журналы событий и сформированные аналитические отчеты. Структура базы данных спроектирована с учетом нормализации данных, обеспечения целостности и возможности расширения [6].

Аналитический модуль на базе предобученной языковой модели Llama-3.1-8b-instant выполняет классификацию состояний, прогнозирование риска выгорания, анализ факторов влияния и генерацию рекомендаций. Взаимодействие между серверной частью и нейросетевым компонентом осуществляется через внутренний программный интерфейс.

Структурная схема веб-приложения для мониторинга психологического состояния сотрудников и оценки риска профессионального выгорания представлена на рисунке 1.

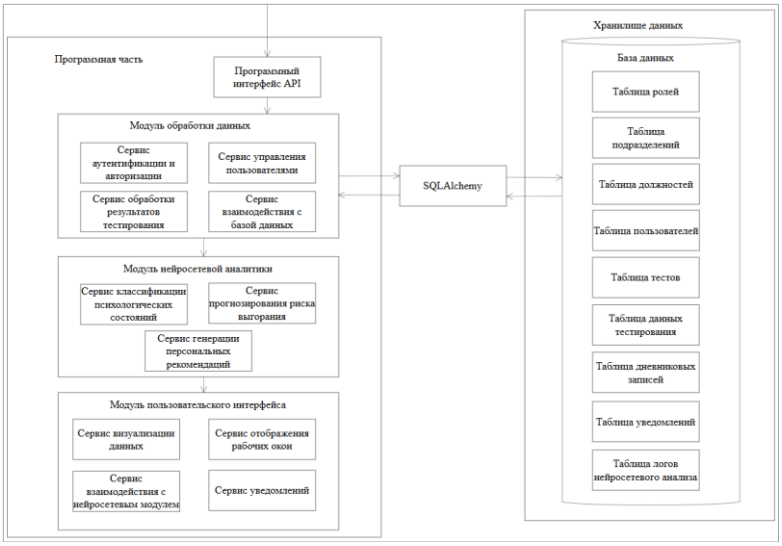


Рисунок 1 – Структурная схема веб-приложения

Алгоритм работы системы реализует событийно-ориентированную модель взаимодействия, при которой выполнение большинства операций инициируется действиями пользователя через веб-интерфейс. При этом часть процессов выполняется синхронно в режиме реального времени, а часть – асинхронно в фоновом режиме, что обеспечивает баланс между интерактивностью интерфейса и вычислительной нагрузкой.

Начальным этапом является обращение пользователя к веб-интерфейсу. При первом использовании выполняется регистрация. На серверной стороне происходит валидация информации и создается учетная запись. При успешной аутентификации формируется сессионный токен доступа для последующих запросов. После прохождения авторизации пользователь получает доступ к функционалу, соответствующему его роли в системе.

Для пользователя с ролью «Сотрудник» основной алгоритм работы связан с прохождением психодиагностических опросов, ведением дневника состояния и получением персонализированных рекомендаций. При назначении тестирования сотруднику формируется уведомление, отображаемое в интерфейсе. По завершении тестирования активируется алгоритм автоматического расчета интегральных показателей, включая уровень стресса, эмоционального истощения и риск профессионального выгорания.

Расчет показателей осуществляется на основе формализованных шкал и весовых коэффициентов, соответствующих выбранной методике. При необходимости дополнительно инициируется вызов нейросетевого модуля для анализа текстовых ответов и описаний эмоционального состояния. Нейросетевая модель выполняет классификацию состояния сотрудника, выявляет эмоциональные маркеры и формирует обобщенный индекс риска. Результаты вычислений сохраняются в базе данных. В рамках ведения дневника состояния сотрудник может регулярно фиксировать оценку самочувствия и эмоционального фона. Нейросетевая обработка позволяет выявлять устойчивые негативные тенденции, изменения

эмоционального окраса и потенциальные признаки дестабилизации. Алгоритм формирования рекомендаций осуществляется через анализ текущих показателей, а нейросетевая модель генерирует текст рекомендаций с учетом особенностей сотрудника.

Для пользователя с ролью «Психолог» алгоритм работы включает получение агрегированной и индивидуальной информации о сотрудниках. Система формирует сводку, содержащую динамику показателей и результаты классификации состояния. При выявлении критических значений приходит уведомление о необходимости вмешательства. Психолог может назначить тестирование, индивидуальные меры или оповестить руководителя. Алгоритм аналитической обработки данных предусматривает построение графиков динамики показателей во времени. Для этого осуществляется выборка данных из базы, их сортировка по временной шкале и расчет производных характеристик.

Руководитель организации взаимодействует с системой на уровне аналитики. Алгоритм работы в данном случае включает выбор подразделения, формирование статистических показателей и определение общего уровня риска выгорания в коллективе. Система осуществляет анонимизацию персональных данных. Руководитель может инициировать запрос рекомендаций стратегического характера, основанных на выявленных тенденциях.

Администратор системы осуществляет управление пользователями и контроль корректности функционирования информационной системы.

Заключение. Разработанное веб-приложение для мониторинга психологического состояния сотрудников и оценки риска профессионального выгорания представляет собой централизованную клиент-серверную систему, обеспечивающую сбор, хранение и интеллектуальную обработку психоэмоциональных данных персонала организации. Таким образом, разработанное веб-приложение позволяет организациям перейти от реактивного к проактивному управлению человеческими ресурсами за счет своевременного выявления потенциальных рисков и принятия превентивных мер, что способствует поддержанию психологического благополучия персонала и повышению эффективности труда.

Список литературы

1. *REST API – Документация. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://docs.cs-cart.ru/latest/developer_guide/api/.*

2. *JSON encoder and decoder. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://docs.python.org/3/library/json.html.*

3. *5 лучших языков программирования для создания нейросетей. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://tproger.ru/articles/5-luchwih-yazykov-programmirovaniya-dlya-sozdaniya-nejrosetej-253661.*

4. *Справочник по HTML. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://htmlbook.ru/html.*

5. *FastAPI Tutorial. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://rhkina.gitlab.io/fastapi/*

6. *PostgreSQL: The World's Most Advanced Open Source Relational Database. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.postgresql.org.*

UDC 004.774:159.944-047.36

WEB APPLICATION FOR MONITORING THE PSYCHOLOGICAL STATE OF EMPLOYEES AND ASSESSING BURNOUT RISK USING NEURAL NETWORK ALGORITHMS

Izotova A.S.

Belarusian State University *of* Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic *of* Belarus

Shcherbina N.V. – Senior Lecturer at the Department of EPE

Annotation. The article discusses the relevance of developing a web application for monitoring the psychological state of employees and assessing the risk of professional burnout. The architecture of the created web application based on a microservice approach, client-server interaction, and the use of neural network algorithms is described.

Keywords:web application, psychological state monitoring, professional burnout, neural network algorithms, Python, PostgreSQL

УДК 004.422.81:61:331.101.1

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ «КАЛЕНДАРЬ ВРАЧЕБНЫХ НАЗНАЧЕНИЙ»

Хоружик Е. В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Щербина Н.В. – ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. Статья посвящена разработке веб-приложения «Календарь врачебных назначений», направленного на повышение приверженности пациентов лечению за счёт автоматизации процессов создания, доведения до пациента и контроля выполнения врачебных назначений. Проведен анализ предметной области, рассмотрены существующие аналоги, выявлены их недостатки. На основе исследования сформулированы функциональные возможности и эргономические требования к разрабатываемой системе.

Ключевые слова: веб-приложение, медицинская информационная система, врачебные назначения, лечение, эргономическое проектирование

Введение. В современном здравоохранении качество лечения в значительной мере определяется тем, насколько точно пациент следует врачебным назначениям. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения, в развитых странах лишь 50 % пациентов с хроническими заболеваниями придерживаются терапии, что приводит к ухудшению состояния здоровья, развитию осложнений и смертям [1]. Бумажные назначения неразборчивы, легко теряются, а совмещение нескольких схем лечения превращается в сложную, подверженную ошибкам задачу. Существующие цифровые решения решают эти проблемы лишь частично, что подтверждает актуальность разработки веб-приложения, объединяющего всех участников лечебного процесса. Учитывая специфику пользователей (медицинские работники с высокой нагрузкой, пациенты разного возраста и уровня цифровой грамотности), особое значение имеет эргономическое обеспечение системы.

Основная часть. Анализ существующих цифровых решений выявил две основные категории информационных систем.

К первой категории относятся медицинские информационные системы (МИС), ориентированные на автоматизацию работы учреждений. Например, российская система МЕДМИС предоставляет широкий функционал: электронные медицинские карты, управление расписанием, учет финансов, работу со страховыми компаниями, складской учет и аналитику [2]. Однако мобильные приложения для пациентов, предлагаемые такими системами, выполняют лишь справочно-информационные функции и иногда дают возможность записи на прием, но не позволяют отслеживать ежедневное выполнение лечения.

Вторую категорию составляют приложения для пациентов, такие как MyTherapy и Medisafe, которые помогают отслеживать прием лекарств и вести дневники показателей здоровья [3, 4]. Также MyTherapy имеет модуль для врача, позволяющий просматривать отчеты о соблюдении лечения. А Medisafe поддерживает сложные схемы дозировок и уникальную функцию «мед-друг» для подключения родственников. Однако ключевым недостатком этих решений является их изолированность от официальных МИС. Пациент вынужден вручную вводить данные о препаратах, что неудобно и повышает риск ошибок.

Таким образом, анализ существующих систем подтверждает необходимость разработки веб-приложения, объединяющего преимущества рассмотренных аналогов.

Для проектирования системы необходимо определить потребности всех групп пользователей. В системе выделяется четыре ключевые роли: пациент, врач, медицинский персонал и администратор. Пациенту нужны простота и наглядность: не запутаться в схеме приема, получать напоминания, фиксировать выполнение и вести дневник показателей. Врачу необходим удобный интерфейс для создания детализированных назначений с использованием шаблонов, а также доступ к отчетам: истории приема лекарств пациентом, графикам изменений его показателей, записям о самочувствии. Потребности медицинского персонала заключаются в необходимости четко видеть перечень процедур, запланированных на день.

Интерфейс должен позволять быстро отмечать выполнение задач. Администратор отвечает за управление учетными записями всех пользователей и ведение системных справочников.

В соответствии с потребностями пользователей сформулирован перечень выполняемых функций. Он включает 23 ключевых функций: регистрация врачей и медицинского персонала через модуль администратора, регистрация пациентов, авторизация с проверкой прав доступа, управление учетными записями пользователей, управление персональными данными и настройками профиля, ведение системных справочников, просмотр истории консультаций и назначений, формирование лекарственных назначений, определение параметров дозировки и режима приема, добавление специальных указаний к назначениям, создание и применение шаблонов врачебных назначений, назначение немедикаментозного лечения, фиксация выполнения процедур, документирование побочных эффектов у пациента, календарь графика лечения, отслеживание приема препаратов, просмотр отчета о соблюдении плана лечения, ввод медицинских показателей, визуализация графика показателей, документирование жалоб и симптомов, настройка уведомлений, отправка push-уведомлений о приеме препаратов и напоминаний о процедурах, контроль запасов лекарств.

На основе анализа функций было проведено распределение операций между человеком и компьютером [5]. Компьютеру делегированы рутинные, требующие высокой точности операции: хранение и обработка данных, валидация информации, генерация напоминаний и графиков, фиксация времени событий. Человеку – аналитические и ответственные задачи, требующие профессиональных знаний: постановка диагноза, выбор стратегии лечения, оценка состояния пациента и динамики показателей. Такое распределение позволяет минимизировать когнитивную нагрузку на пользователей и сохранить контроль над важными решениями.

Разработка эргономических требований имеет особую значимость в контексте медицины, где ошибки взаимодействия с интерфейсом могут иметь критические последствия. В рамках работы сформулирован комплекс эргономических требований, ориентированных на две ключевые характеристики системы: управляемость и освояемость [6].

К требованиям управляемости относятся:

1 Психологические требования: соответствие цветового кодирования устоявшимся стереотипам и обеспечение однозначности восприятия информации, соответствие объема информации возможностям оперативной памяти человека, логичная группировка элементов, обозначение текущего статуса системы, наличие четких и однозначных подписей или подсказок для элементов управления, наличие информативных сообщений об ошибках и способах исправления, наличие предупреждающих диалогов при выполнении потенциально опасных действий, единообразие расположения основных элементов на всех экранах системы.

2 Психофизиологические требования: оптимальный размер и читаемость шрифтов, обеспечение достаточной контрастности текста и значимых элементов относительно фона, минимизация когнитивной нагрузки за счет использования автодополнения, выпадающих списков и других средств автоматизации ввода.

3 Антропометрические требования: обеспечение удобного и безошибочного взаимодействия с сенсорными элементами управления, учет различных типов, размеров и ориентации экранов пользовательских устройств, обеспечение возможности использования системы одной рукой на мобильных устройствах.

Эргономические требования освояемости:

1 Психологические требования: единообразие интерфейса и принципов взаимодействия во всех разделах системы, использование понятных формулировок.

2 Социально-психологические требования: поддержка эффективного взаимодействия между различными ролями пользователей, учет различий пользователей с соответствующим разграничением прав доступа и специализацией интерфейсов.

Разработанные требования обеспечивает надежность работы с медицинскими данными, эффективность взаимодействия и адаптивность к различным устройствам и условиям работы.

На основе данных требований был выполнен дизайн основных страниц приложения пациента. Интерфейс этих окон представлен на рисунке 1.

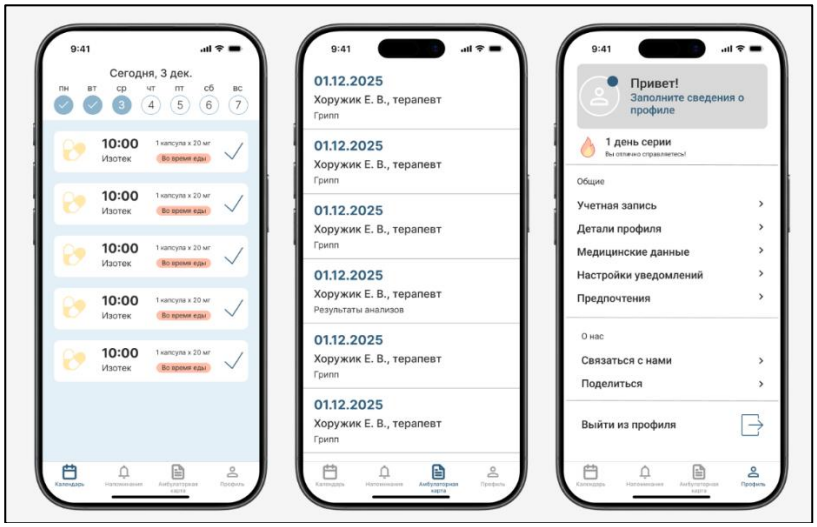


Рисунок 1 – Дизайн основных окон пациента

Заключение. Разработанное веб-приложение позволит повысить приверженность пациентов лечению за счет автоматизации процессов создания, контроля и выполнения врачебных назначений. Внедрение системы будет способствовать снижению количества ошибок, связанных с несоблюдением лечения, и повышению удовлетворенности всех участников лечебного процесса за счет удобного и эргономичного интерфейса, адаптированного под задачи каждой группы пользователей.

Список литературы

1. *Несоблюдение приема назначенных лекарств от хронических заболеваний – это огромная, глобальная проблема [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.who.int/news/item/01-07-2003-failure-to-take-prescribed-medicine-for-chronic-diseases-is-a-massive-world-wide-problem. – Дата доступа: 30.01.2026.*

2. *Медицинская информационная система МЕДМИС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.medmis.ru/. – Дата доступа: 07.02.2026.*

3. *Medication Reminder and Pill Tracker App – MyTherapy [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.mytherapyapp.com/. – Дата доступа: 09.02.2026.*

4. *Medisafe App [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://medisafeapp.com/. – Дата доступа: 13.02.2026.*

5. *Шупейко, И. Г. Эргономическое проектирование систем «человек – машина» : пособие / И. Г. Шупейко. – Минск : БГУИР, 2017. – 76 с. – Режим доступа: https://libeldoc.bsuir.by/bitstream/123456789/27731/1/Shupeiko_2017.pdf. – Дата доступа: 26.02.2026.*

6. *Шупейко, И. Г. Методические указания по курсовому проектированию для студентов специальности «ИПОИТ» [Электронный ресурс] / И. Г. Шупейко. – Режим доступа: https://www.bsuir.by/m/12_100229_1_111674.pdf?ysclid=mm90dv7nb4938709984. – Дата доступа: 28.02.2026.*

UDC 004.422.81:61:331.101.1

WEB APPLICATION «MEDICAL APPOINTMENT CALENDAR»

Khoruzhik E. V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Shcherbina N.V. – Senior Lecturer at the Department of EPE

Annotation. The article is devoted to the development of the web application «Medical Appointment Calendar», aimed to increase patient adherence to treatment by automating the processes of creating, communicating to the patient and monitoring the implementation of medical prescriptions. The analysis of the subject area is carried out, existing analogues are considered, their disadvantages are identified. Based on the research, the functional capabilities and ergonomic requirements for the system being developed are formulated.

Keywords: web application, medical information system, medical prescriptions, treatment, ergonomic design

УДК 640.45:331.101.1

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ «СЛУЖБА ДОСТАВКИ ЕДЫ» И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Князева Е.Н.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Карпович Е.Б. – ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. Рассмотрены основные принципы проектирования и реализации веб-приложения «Служба доставки еды», предназначенного для автоматизации процессов онлайн-заказа и доставки готовых блюд. Описаны функциональные возможности системы, включающие регистрацию и аутентификацию пользователей, формирование и редактирование корзины, оформление заказа, а также управление личным профилем. Представлены функции администратора, обеспечивающие управление ресторанами и ассортиментом блюд, а также статусами заказов. Особое внимание уделено вопросам удобства пользовательского интерфейса и навигации. В ходе разработки построена диаграмма вариантов использования и обоснован выбор применяемых технологий.

Ключевые слова: автоматизация управления заказами, доставка еды*, React, Java, MySQL.*

Введение. В условиях активного развития цифровых технологий и расширения сферы онлайн-сервисов особое значение приобретает разработка веб-приложений, обеспечивающих дистанционное взаимодействие между пользователем и поставщиком услуг. Одним из наиболее востребованных направлений является организация онлайн-заказа и доставки готовых блюд, что связано с ростом требований к удобству, скорости обслуживания и доступности сервисов [1].

Создание веб-приложения «Служба доставки еды» направлено на автоматизацию процессов оформления, обработки и управления заказами в единой информационной среде. Разработка подобных систем требует учета функциональных, технологических и эргономических аспектов проектирования, а также надежности работы приложения.

Актуальность работы обусловлена необходимостью повышения эффективности обслуживания пользователей и оптимизации внутренних процессов обработки заказов. Целью исследования является разработка веб-приложения, реализующего основные функции онлайн-заказа и обеспечивающего удобное и эффективное взаимодействие пользователя с системой.

Основная часть. Веб-приложение «Служба доставки еды» реализовано на основе клиент-серверной архитектуры с использованием *HTML, CSS, JavaScript* и библиотеки *React* для клиентской части, языка Java для серверной логики и СУБД *MySQL* для хранения данных. Выбор данной технологической платформы обусловлен её распространённостью, надёжностью и возможностью построения масштабируемых веб-систем.

Клиентская часть разработана с применением компонентного подхода, реализуемого средствами библиотеки *React*, что обеспечивает модульность, повторное использование компонентов и эффективное управление состоянием приложения [2]. Разделение интерфейса на независимые функциональные блоки упрощает сопровождение проекта и его дальнейшую модернизацию. Навигация построена по принципу одностраничного приложения (*SPA*), что позволяет динамически обновлять содержимое без полной перезагрузки страницы и повышает производительность системы.

Серверная часть реализует обработку *HTTP*-запросов, бизнес-логику и взаимодействие с базой данных. В качестве системы управления базами данных используется *MySQL*, реализующая реляционную модель хранения данных и обеспечивающая целостность информации за счёт использования первичных и внешних ключей [3]. Обмен данными между клиентской и серверной частями осуществляется в формате *JSON*, что обеспечивает универсальность передачи данных и удобство их обработки.

В базе данных спроектированы таблицы пользователей, категорий блюд, меню, заказов и позиций заказа. Связи между таблицами обеспечивают логическую целостность структуры

данных и корректность выполнения операций создания, чтения, обновления и удаления записей. При проектировании структуры базы данных учитывались требования к нормализации, что позволило избежать избыточности данных и повысить эффективность выполнения запросов.

Проектирование системы началось с анализа предметной области и построения диаграммы вариантов использования, отражающей основные сценарии взаимодействия пользователя с приложением. В соответствии с функциональной моделью реализованы модули регистрации и аутентификации пользователей, просмотра меню, поиска, фильтрации и сортировки блюд, управления корзиной, оформления заказа, выбора адреса, времени доставки и способа оплаты, а также управления профилем и просмотра истории заказов.

Функциональность приложения охватывает полный цикл онлайн-заказа. Работа пользователя начинается с регистрации или входа в систему. Реализован механизм аутентификации, предусматривающий проверку корректности введённых данных и предоставление доступа к персонализированным функциям. Для обеспечения безопасности предусмотрена валидация вводимых данных и контроль прав доступа к защищённым разделам приложения.

Модуль работы с меню включает отображение карточек блюд с описанием, стоимостью и дополнительными характеристиками. Интерфейс организован таким образом, чтобы обеспечить наглядность представления информации и удобство её восприятия. Для повышения удобства реализованы функции поиска по наименованию, фильтрации по категориям и сортировки по заданным параметрам. Это позволяет ускорить процесс выбора и повысить эффективность взаимодействия с системой, особенно при большом количестве позиций в меню.

Ключевым элементом функциональности является модуль управления корзиной. Пользователь может добавлять блюда в корзину, изменять их количество, удалять позиции и просматривать итоговую стоимость заказа. Данный модуль обеспечивает динамическое обновление данных без перезагрузки страницы, что реализовано средствами *React* и *JavaScript*.

Модуль оформления заказа предусматривает выбор адреса доставки, времени получения и способа оплаты. После подтверждения заказа информация передаётся на серверную часть, где осуществляется её обработка и сохранение в базе данных *MySQL*. Для каждого заказа формируется уникальная запись, связанная с конкретным пользователем. Также реализована функция просмотра истории заказов, что позволяет пользователю отслеживать ранее оформленные покупки и повторять их при необходимости.

Отдельный функциональный блок посвящён управлению профилем. Пользователь может просматривать и редактировать личные данные, а также при необходимости удалить профиль. Все изменения синхронизируются с сервером и обновляются в базе данных. Реализация данного модуля обеспечивает персонализацию взаимодействия пользователя с системой и повышает удобство её использования.

Дополнительно в системе предусмотрены административные функции, включающие управление перечнем ресторанов, редактирование меню, изменение статусов заказов и контроль их выполнения. Это позволяет централизованно управлять содержимым платформы и поддерживать актуальность представленной информации.

Диаграмма вариантов использования приложения представлена на рисунке 1.

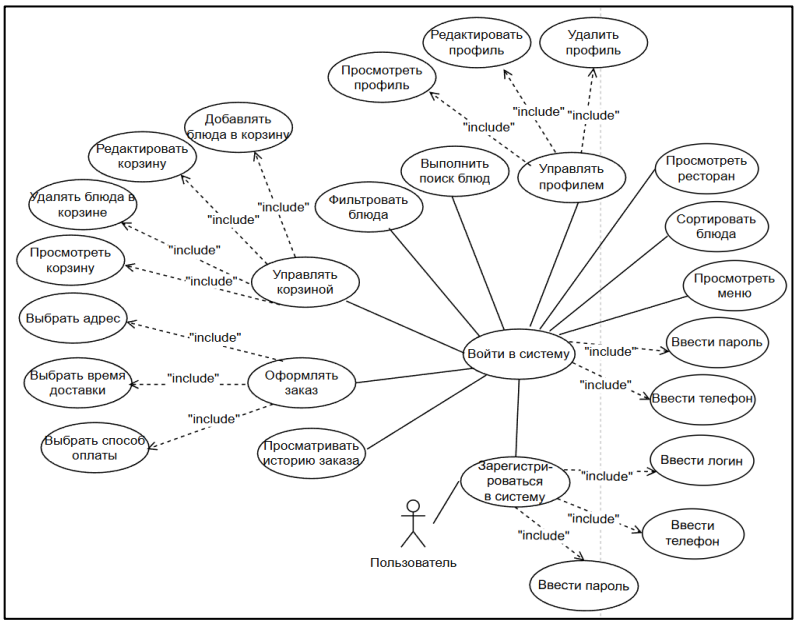


Рисунок 1 – Диаграмма вариантов использования

Диаграмма иллюстрирует функционал системы с точки зрения пользователя и демонстрирует логические связи между отдельными операциями.

Заключение. Разработанное веб-приложение представляет собой полноценную систему, ориентированную на организацию дистанционного обслуживания в сфере доставки готовых блюд. В процессе проектирования и реализации были учтены современные требования к функциональности, надежности и удобству подобных сервисов. Полученное решение обеспечивает эффективное взаимодействие между пользователями и сервисом, автоматизируя ключевые операции и предоставляя интуитивно понятный интерфейс для навигации и управления заказами.

Список литературы

1. *Интерфейс. Основы проектирования взаимодействия / А. Купер, Р. Рейман, Д. Кронин. – СПб.: Питер, 2016. – 720 с.*
2. *React и Redux. Функциональная веб-разработка / А. Бэнкс, Е. Порчелло. – М.: ДМК Пресс, 2018. – 320 с.*
3. *MySQL. Руководство администратора / П. Дюбуа. – М.: Вильямс, 2014. – 816 с.*

UDC 640.45:331.101.1

WEB APPLICATION «FOOD DELIVERY SERVICE» AND ITS ERGONOMIC SUPPORT

Kniazeva E.N.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Karpovich E.B. – Senior Lecturer at the Department of EPE

Annotation. The basic principles of designing and implementing the web application «Food Delivery Service», designed to automate the processes of online ordering and delivery of ready meals, are considered. The functionality of the system is described, including user registration and authentication, creating and editing a shopping cart, ordering, and managing a personal profile. The functions of the administrator are presented, which ensure the management of restaurants and the assortment of dishes, as well as the order statuses. Special attention is paid to the convenience of the user interface and navigation. During the development, a diagram of use cases was constructed and the choice of technologies used was justified.

Keywords: Order management automation, food delivery, React, Java, MySQL.

УДК 004.774:004.773.6-057.65

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ КООРДИНАЦИИ БЫТОВОЙ ВЗАИМОПОМОЩИ В РАМКАХ ЖИЛОГО КОМПЛЕКСА

Курбатский В.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Цявловская Н.В. – магистр технических наук, ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. В статье рассматривается проблема социальной изоляции жителей многоквартирных домов, усугубляемая низкой эффективностью традиционных мессенджеров для организации соседского взаимодействия. Предложена архитектура веб-приложения, преобразующего хаотичный поток сообщений в структурированную базу данных услуг и инструментов. Описаны методы многоуровневой верификации пользователей, система мотивации и инструменты модерации спорных ситуаций, связанных с арендой или оказанием услуг. Обосновано, что внедрение такой платформы позволяет снизить «социальный барьер» и повысить эффективность взаимопомощи в локальных сообществах.

Ключевые слова: жильцы, веб-приложение, социальный барьер, верификация, модерация, структурирование данных, бытовая взаимопомощь.

Введение. Жители многоквартирных домов часто сталкиваются с трудностями при обращении за помощью, даже проживая в непосредственной близости друг от друга [1]. Основными причинами являются психологическая неловкость и низкая эффективность традиционных способов (обход квартир и др.). Попытки использовать чаты в мессенджерах для организации соседского взаимодействия не всегда решают проблему: информация быстро теряет актуальность и становится труднодоступной для поиска.

Целью работы является разработка веб-приложения, которое выступает в роли «умного указателя», структурирующего данные о доступных ресурсах внутри локализованного сообщества, и обеспечивающего безопасное и удобное взаимодействие жителей дома.

Основная часть. В отличие от мессенджеров, система использует не поток сообщений, а структурированную базу данных, где информация актуализируется и привязана к профилям пользователей. Это позволяет получать каталогизированный результат по целевому запросу [2]. Архитектура приложения включает пять уровней доступа пользователей (таблица 1):

Таблица 1 – Уровни доступа пользователей

Уровень	Наименование	Верификация	Основные права
0	Гость	Не требуется	Просмотр обезличенной статистики взаимодействий между пользователями
1	Зарегистрированный жилец дома	Номер телефона (SMS)	Размещение объявлений (с лимитами)
2	Верифицированный жилец дома	Иметь уровень 1, фото квитанции ЖКУ, проверка которой осуществляется модератором сообщества	Полный доступ к аренде, отсутствие лимитов
3	Модератор сообщества	Назначается из активных пользователей уровня 2 путем голосования или администратором	Права уровня 2, модерация объявлений, разрешение спорных ситуаций, связанных с арендой или оказанием услуг

Продолжение таблицы 1

Уровень	Наименование	Верификация	Основные права
4	Администратор	-	Контроль работы модераторов сообщества, разрешение неурегулированных модераторами споров, блокировка пользователей при грубых нарушениях, просмотр статистики, отчетность

Для снижения порога входа разработан механизм быстрого онбординга: при регистрации пользователю предлагается чек-лист из популярных предметов и услуг, где он может отметить «Есть в наличии, могу поделиться», «Могу помочь навыком, оказать консультацию» и др. Система автоматически создаёт теневые карточки, которые могут быть активированы после верификации [3].

Ключевым функциональным элементом является доска объявлений, в которой каждое объявление создаётся по структурированному шаблону, включающему тип (предложение или запрос), категорию, срочность и желаемое время. Реализованы фильтрация по категориям и поиск по ключевым словам. Алгоритм ранжирования учитывает дату публикации и географическую близость (подъезд, этаж) в случае, если эти данные были добавлены пользователем. Система автоматически обрабатывает объявления: ежемесячно запрашивает подтверждение актуальности, архивирует объявления через два месяца в случае неподтверждения. Предусмотрены специальные разделы – «Отдам/Приму в дар» для безвозмездной передачи вещей и «Срочный запрос» для экстренных ситуаций. В последнем случае уведомление получают все активные пользователи дома. Для предотвращения злоупотребления «Срочным запросом» введены ограничения: лимит использования этой функции, выбор характера проблемы из предопределённого списка (например, «Прорыв трубы»).

Модуль аренды инструментов и вещей построен на принципах каталогизации и минимизации рисков. Владелец размещает предмет с указанием категории ценности, фотографиями и условиями аренды. Для дорогого инвентаря рекомендуется цифровой чек-лист: фотография «до» с фиксацией времени, описание состояния, подтверждение получения сторонами и фотография «после» при возврате. Чек-лист служит доказательством при возникающем споре. Для правовой защиты участников сделки предусмотрена возможность загрузки PDF-шаблона договора аренды. Раздел «Отложенный спрос» позволяет пользователям оставлять заявки на отсутствующие предметы, при появлении такого предмета в базе система отправляет уведомления обеим сторонам.

Система мотивации и репутации пользователей опирается на внутренние баллы, которые начисляются за заполнение профиля, добавление объявлений, успешные взаимодействия и модерацию [4]. Защита от накрутки баллов реализована через лимиты: максимальное число получаемых пользователем баллов в день и ограничение на количество взаимодействий с одним жильцом за недельный промежуток. Баллы можно потратить на повышение приоритета объявлений, снятие лимитов на активные объявления или получение скидочных купонов у партнёров. Социальное признание выражается в присвоении статусов («Оказал помощь 10 раз», «Супер-арендодатель») и публичной доске почёта (с согласия пользователей). Публичная часть профиля отражает только положительные показатели активности (количество успешных взаимодействий, статус, достижения). Информация о нарушениях и предупреждениях не отображается другим пользователям и используется исключительно для внутренней модерации.

Для первичной коммуникации используется встроенный чат, который не требует раскрытия личных контактов. Только после взаимного согласия стороны могут нажать кнопку «Обменяться контактами» и перейти в привычный мессенджер.

Безопасность взаимодействий обеспечивается многоступенчатой процедурой разрешения спорных ситуаций, связанных с арендой или оказанием услуг. При возникновении разногласий стороны могут обратиться к модератору сообщества, который изучает предоставленные материалы (фото, описание) и формирует заключение по жалобе. При нарушении правил модератор выносит предупреждение; два предупреждения за полгода влекут временную «заморозку» профиля. Платформа не использует публичную дискредитацию пользователей: все негативные оценки видны только модератору и служат

исключительно для «внутренних санкций». В случае обращения пользователя в полицию или суд по официальному запросу предоставляются сохранённые данные (логи, фото, информация верификации).

Предусмотрена двухступенчатая процедура обжалования решений модератора: сначала в срок до 48 часов обращение пользователя рассматривает модератор и выносит окончательное решение, при несогласии с ним пользователь может запросить проверку администратором, который вправе оставить решение в силе, изменить его, вынести предупреждение модератору [5].

Монетизация реализуется через три основных канала:

1 Премиум-функции для активных пользователей. За внутренние баллы или оплату по тарифу можно приобрести повышение приоритета объявлений в поисковой выдаче, снятие лимитов на количество активных объявлений и др.

2 Местные магазины, кафе, сервисные компании могут размещать таргетированные предложения для жителей конкретных домов (реклама, купоны, спецпредложения). За это взимается либо фиксированная плата, либо комиссия с совершенных по купонам покупок.

3 »White Label» для застройщиков и управляющих компаний. Платформа предлагается как готовая «цифровая экосистема дома» под брендом застройщика или УК. В этом случае взимается абонентская плата за установку, поддержку и обслуживание брендированной версии.

Заключение. В работе предложена комплексная архитектура веб-приложения, ориентированного на организацию бытового взаимодействия внутри локализованных сообществ. В отличие от существующих решений на базе мессенджеров, разработанная система обеспечивает структурирование данных, многоуровневую верификацию пользователей и встроенные механизмы безопасности, что способствует формированию устойчивых связей и повышению качества локального взаимодействия.

Список литературы

1. *Botsman, R. What's Mine Is Yours: The Rise of Collaborative Consumption / R. Botsman. New York: HarperBusiness, 2010. 304 p.*

2. *Sundararajan, A. The Sharing Economy: The End of Employment and the Rise of Crowd-Based Capitalism / A. Sundararajan. Cambridge, MA: MIT Press, 2016. 256 p.*

3. *Nielsen, J. Usability Engineering / J. Nielsen. San Diego: Academic Press, 1993. 362 p.*

4. *Resnick, P. Trust among strangers in Internet transactions: Empirical analysis of eBay's reputation system / P. Resnick, R. Zeckhauser // Advances in Applied Microeconomics. 2002. Vol. 11. P. 127–157.*

5. *Gillespie, T. Custodians of the Internet: Platforms, Content Moderation, and the Hidden Decisions That Shape Social Media / T. Gillespie. New Haven: Yale University Press, 2018. 296 p.*

UDC 004.774:004.773.6-057.65

WEB APPLICATION FOR COORDINATION OF HOUSEHOLD MUTUAL AID WITHIN A RESIDENTIAL COMPLEX

Kurbatski V.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Tsyavlovskaya N.V. – Senior Lecturer of the Department of IP&E, Master of Technical Sciences

Annotation. The article addresses the problem of social isolation among residents of apartment buildings, which is exacerbated by the low efficiency of traditional messengers for organizing neighborly interaction. An architecture for a web application is proposed, transforming the chaotic flow of messages into a structured database of services and tools. Methods for multi-level user verification, a motivation system, and tools for moderating disputes related to rentals or the provision of services are described. It is substantiated that the implementation of such a platform can reduce the «social barrier» and increase the effectiveness of mutual assistance within local communities.

Keywords: residents, web application, social barrier, verification, moderation, data structuring, household mutual assistance.

УДК 004.912

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО НОРМОКОНТРОЛЯ СТУДЕНЧЕСКИХ РАБОТ В БГУИР И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Курильчик А.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Яцкевич А.Ю. – магистр, ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. В статье рассмотрена проблема высокой трудоёмкости нормоконтроля студенческих работ. Описано веб-приложение для автоматической проверки оформления документов по СТП 01-2024. Система реализует двухэтапный контроль: автоматический анализ файла и верификация преподавателем. При разработке системы особое внимание уделено эргономическому проектированию интерфейса, в том числе учёту рекомендаций WCAG 2.2.

Ключевые слова: нормоконтроль, автоматизация, оформление студенческих работ, СТП

Введение. Оформление дипломных и курсовых проектов, магистерских диссертаций в БГУИР строго регламентировано стандартом предприятия [1]. На практике студенты регулярно допускают однотипные ошибки: неверная нумерация страниц, оформление списков и таблиц, библиографических ссылок. Традиционная проверка преподавателем отнимает значительное время, отвлекая от оценки содержательной части работы [2]. Актуальность темы обусловлена необходимостью снизить рутинную нагрузку с нормоконтролеров и повысить точность проверки [3].

На рынке существуют инструменты проверки антиплагиата (Turnitin, Antiplagiat), но они решают задачу выявления заимствований, а не проверки оформления. Системы управления обучением (Moodle) не имеют встроенных модулей для сложного нормоконтроля. Разработанное приложение уникально тем, что сочетает автоматизированную проверку на соответствие требованиям СТП с экспертной оценкой преподавателя в едином веб-приложении. Веб-приложение для автоматизированного нормоконтроля студенческих работ в БГУИР может использоваться для проверки работ студентов всех специальностей и форм обучения университета.

Основная часть. Написанию текста программы предшествовало эргономическое проектирование разрабатываемой социотехнической системы. При разработке использовался подход к проектированию «пользователь в центре». Принцип «пользователь в центре» (user-centered design) предполагает поэтапное проектирование интерфейса на основе анализа задач, компетенций и ограничений целевой аудитории, что обеспечивает соответствие функциональной структуры системы реальным сценариям её использования [4].

Процесс нормоконтроля разделён на два этапа. На первом этапе система автоматически сканирует загруженный файл. Система поддерживает загрузку файлов форматов .docx и .pdf. Проводится проверка на наличие обязательных структурных элементов (титульный лист, содержание, список литературы), соответствие полей, шрифтов, нумерации страниц и оформления ссылок. Результаты формируются в виде отчёта с указанием конкретных ошибок и рекомендациями по исправлению.

На втором этапе работу проверяет преподаватель. Он видит исходный файл и автоматический отчёт. Это позволяет сосредоточиться на содержательной части и сложных случаях оформления, которые машина не может оценить корректно. Преподаватель выставляет статус «Допуск» или «Недопуск» и оставляет комментарий. Студент получает уведомление и может скачать итоговый отчёт.

Алгоритм работы веб-приложения для автоматизированного нормоконтроля представлен

на рисунке 1.

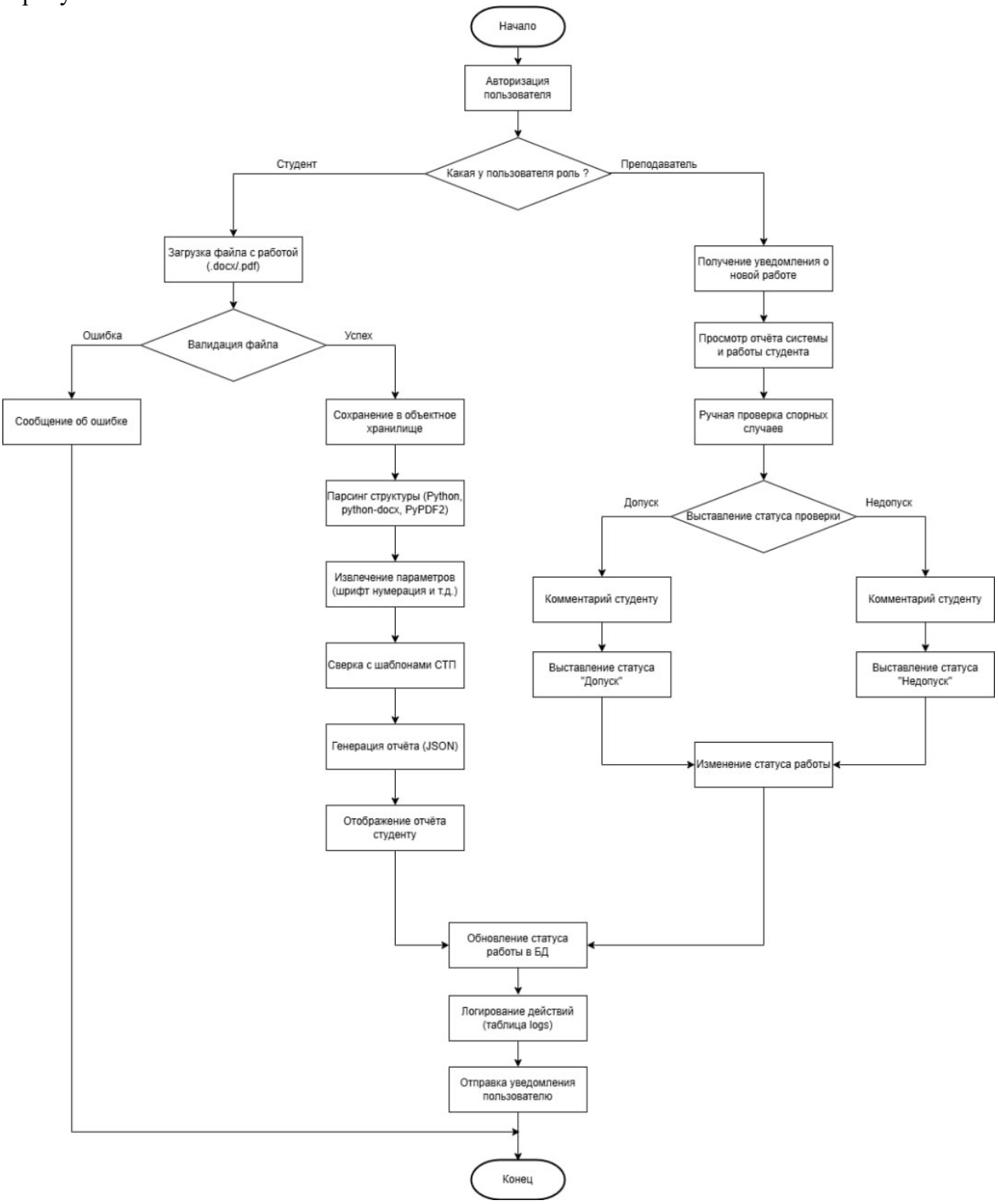


Рисунок 1 – Алгоритм работы веб-приложения для автоматизированного нормоконтроля

Таким образом, студент видит только свои работы и отчёт проверки, преподаватель имеет доступ к группам студентов, их работам и настройкам критериев оценивания.

Архитектура приложения построена по модели клиент-сервер. Клиентская часть реализована на HTML, CSS и JS – это обеспечивает высокую отзывчивость интерфейса без перезагрузки страниц. Серверная часть реализована на языке программирования Python, модуль анализа документов также написан на Python с использованием библиотек python-docx и PyPDF2 для парсинга структуры файлов [5].

В базе данных PostgreSQL хранятся профили пользователей, файлы работ, логи проверок и история изменений. Это обеспечивает прозрачность процесса и возможность аудита. Система ведёт логирование действий: фиксация времени загрузки, проверки, выставления оценки. Для защиты данных реализована авторизация через университетскую учётную запись.

Цветовая схема, навигация и формулировки выдержаны в едином стиле для снижения когнитивной нагрузки. При проектировании учитывались рекомендации WCAG 2.2 по доступности: достаточный контраст, поддержка навигации с клавиатуры, понятные сообщения об ошибках. При разработке пользовательского интерфейса также учитывались принципы когнитивной эргономики: снижение зрительного напряжения, логическая структуризация навигации и предсказуемость реакции системы на пользовательские команды.

По результатам эргономической оценки разработанный пользовательский интерфейс характеризуется высокими показателями эргономических свойств: освояемость – 0.86, управляемость – 0.90, эргономичность в целом – 0.88. Это свидетельствует о том, что эргономические характеристики соответствуют базовым значениям [6].

Заключение. Разработано веб-приложение для автоматизации нормоконтроля работ студентов в БГУИР. Автоматический анализ файла на соответствие требованиям СТП 01-2024 сочетается с последующей проверкой преподавателем. Учет психофизиологических, психологических и социально-психологических эргономических требований при разработке пользовательского интерфейса позволил создать веб-приложение с высокими показателями эргономичности. Внедрение рассматриваемого приложения позволит сократить время проверки и снизить количество ошибок в оформлении работ.

Список литературы

1. *СТП 01-2024. Стандарт предприятия. Требования к оформлению выпускных квалификационных работ. – Минск : БГУИР, 2024. – 178 с.*

2. *Пирожкова, И. Г. Проблемы нормоконтроля научной студенческой работы: правовые основания и практика / И. Г. Пирожкова // Библиосфера. – 2019. – № 1. – С. 77–81*

3. *Воробьёва, Г. Н. К применению ГОСТ 7.32-2017 в вузе. Нормоконтроль / Г. Н. Воробьёва // Вестник науки и образования. – 2019. – № 5. – С. 45–50.*

4. *ISO 9241-210:2019. Ergonomics of human-system interaction – Part 210: Human-centred design for interactive systems [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.iso.org/standard/77513.html. – Дата доступа: 10.02.2026.*

5. *Манкевич, О. В. Особенности автоматизации нормоконтроля текстовых документов / О. В. Манкевич, П. А. Семеняк // Информационные технологии и системы 2015 : материалы междунар. науч. конф. – Минск : БГУИР, 2015. – С. 124–125*

6. *Шупейко, И. Г. Эргономическое проектирование систем «человек – машина» : пособие / И. Г. Шупейко. – Минск : БГУИР, 2017. – С. 67-74*

UDC 004.912

WEB APPLICATION FOR AUTOMATED CONTROL OF STUDENTS' PAPERS DESIGN AT BSUIR AND ITS ERGONOMIC SUPPORT

Kurilchik A.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Yatskevich A.Y. – Master of Pedagogics, senior lecturer of the department of EPaE

Annotation. The article addresses the problem of high labor intensity of students' academic papers manual control for compliance with BSUIR standards. A web application for automated verification of paper formatting according to BSUIR Enterprise Standard Requirements is described. The system implements a two-stage control process: automatic file analysis is followed by expert verification conducted by a tutor. The development of the system included user interface ergonomic design, in particular ensuring compliance with WCAG 2.2. recommendations.

Keywords: normative control, automation, students' papers design, enterprise standard

УДК [004.42:621.395.721.5]+331.101.1

МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ТУРИСТИЧЕСКИХ ПУТЕШЕСТВИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ПРЕДПОЧТЕНИЙ И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Лагутенков П.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Франко Е.П. – к. т. н., доцент, доцент кафедры ИПиЭ

Аннотация. Рассмотрены основные функции мобильного приложения для планирования туристических путешествий, использующее информацию о пользовательских предпочтениях для формирования персонализированных рекомендаций. Описаны функции определения предпочтений, планирования поездки, работы пользователя с картой и страницей конкретной достопримечательности, написания отзывов, ведения профиля и работы с системными настройками. Построена диаграмма вариантов использования.

Ключевые слова: мобильное приложение, планирование туризма, пользовательские предпочтения, Dart, Flutter, Firebase.

Введение. В современном мире количество людей, предпочитающих самостоятельное планирование туристических поездок, значительно растет. Среднестатистический турист тратит от 5 до 10 часов на поиск необходимой информации и планирование наиболее подходящего маршрута перед отпуском. Высокая нагрузка и большие временные затраты обусловлены необходимостью анализировать места и маршруты, сравнивать отзывы и цены, подбирать отели или иные места проживания, что нередко приводит к утомлению пользователя. Влияние внешних факторов, включая изменения в международной транспортной доступности, экономические ограничения и перераспределения туристических потоков также негативно сказываются на процессе поиска необходимой информации. В таких условиях становятся востребованны инструменты, способные автоматизировать рутинные процессы и предложить пользователям наиболее подходящие варианты для путешествий.

В контексте выявленной проблемы мобильные приложения для планирования путешествий способны не только упростить процесс планирования, но и сделать его более осмысленным. Проведение анализа пользовательских данных позволяет точнее формировать рекомендации, которые максимально соответствуют интересам пользователя. Ключевым фактором является платформа и эргономичность. Мобильные приложения обеспечивают быстрый и повсеместный доступ к информации, в то время как простой и понятный интерфейс обеспечивает пользователя быстрой навигацией среди больших объемов данных.

Разработка мобильного приложения для планирования туристических путешествий, учитывающего предпочтения пользователя, является актуальной задачей, так как современные пользователи ожидают индивидуального подхода, а также экономии ресурсов и времени. Пользователю необходим продукт, который обеспечит быстрый, эффективный и повсеместный доступ к информации, которая необходима пользователю для планирования путешествия, которое максимально удовлетворит его желания и потребности.

Основная часть. Техническая реализация приложения выполнена на языке Dart с использованием фреймворка Flutter. Данный выбор обеспечивает кроссплатформенность приложения, что обеспечит его работоспособность на любых устройствах, а также высокую производительность приложения и его адаптивность [1].

В качестве серверной инфраструктуры используется технология Firebase. Данная платформа, включающая облачную базу данных Firestore, систему аутентификации и аналитики данных, обеспечивает эффективное хранение данных, как пользовательских, так и данных о туристических точках интереса. Благодаря синхронизации в реальном времени пользователю всегда будут представлены актуальные данные, а встроенная система

аутентификации позволяет быстро, надежно и эффективно создавать и управлять аккаунтами пользователей [2].

Разрабатываемое приложение сопровождает пользователя на всех этапах планирования путешествия. При первом запуске и создании учетной записи пользователю предлагается массив категорий, из которых пользователь выбирает предпочтительные ему. Эти данные становятся основой для предлагаемых конкретному пользователю точек интереса. В дальнейшем данные категории могут изменяться как самим пользователем, так и адаптироваться на основе его действий. Пользователь может просматривать рекомендации не только на основе своих предпочтений, а также некоторые другие подборки, сформированные самим приложением на основе иных критериев, таких как высокая посещаемость за короткий промежуток времени, большое количество положительных отзывов или географическая близость к пользователю.

Если пользователь уже знает, куда он хочет поехать, в целях экономии времени он может воспользоваться текстовым поиском или поиском на интерактивной карте для изучения информации об интересующем его месте.

После ознакомления и изучения информации об интересующей пользователя локации, он может использовать возможность планирования путешествия, где пользователю будут предоставлены маршруты с возможностью пользовательской конфигурации, места проживания, а также достопримечательности, географически близкие к выбранной пользователем локации, которые также могут быть интересны пользователю. В случае возникновения неопределенности при принятии решения, пользователь может добавить точку интереса в список избранных, чтобы в последующем облегчить поиск понравившихся ему мест.

Для улучшения пользовательского опыта в приложении будет реализована система отзывов, благодаря который каждый пользователь может оставить текстовый отзыв и оценку некоторой точке туристического интереса, а другие пользователи, при просмотре данной локации смогут просмотреть отзывы других пользователей, что поможет в принятии решения о необходимости посещения.

В процессе использования приложение анализирует пользовательские данные, что позволяет производить адаптацию рекомендаций пользователя с целью повышения качества пользовательских рекомендаций.

Контент приложения представлен в доступной и понятной форме, что упрощает освоение новых методов управления стрессом. Встроенные подсказки и рекомендации помогают пользователю использовать функционал приложения максимально эффективно, а персонализация интерфейса делает взаимодействие с системой еще более комфортным.

Эргономическое проектирование интерфейса основывалось на принципах минимализма и доступности информации. Главный экран содержит подборки мест, рекомендуемых к посещению, а также виджет интерактивной карты. Для обеспечения быстрого доступа к основным разделам в нижней части экрана предусмотрена панель навигации, включающая разделы «Главная», «Поиск», «Профиль», «Настройки». Все элементы управления имеют понятные иконки и подписи. Приложение предусматривает сдержанную цветовую схему, где для обозначения важных функциональных элементов используются акцентные цвета.

При необходимости изменения данных своей учетной записи, предпочтений, списка избранных мест и другой информации, которая касается пользовательской записи, используется экран «Профиль». При необходимости изменения настроек приложения, таких как выбор цветовой схемы, настройка использования личных данных, изменения размера шрифтов и других системных функций, пользователь использует экран «Настройки».

При выделении функциональных требований была разработана диаграмма вариантов использования приложения, которая отображает основные действия пользователя при использовании приложения, включая регистрацию и авторизацию, просмотр персонализированных подборок, использование интерактивной карты и поиска, работа со страницей конкретной достопримечательности, планирование путешествия, а также конфигурация пользовательской записи и приложениях [3].

Диаграмма вариантов использования приложения представлена на рисунке 1.

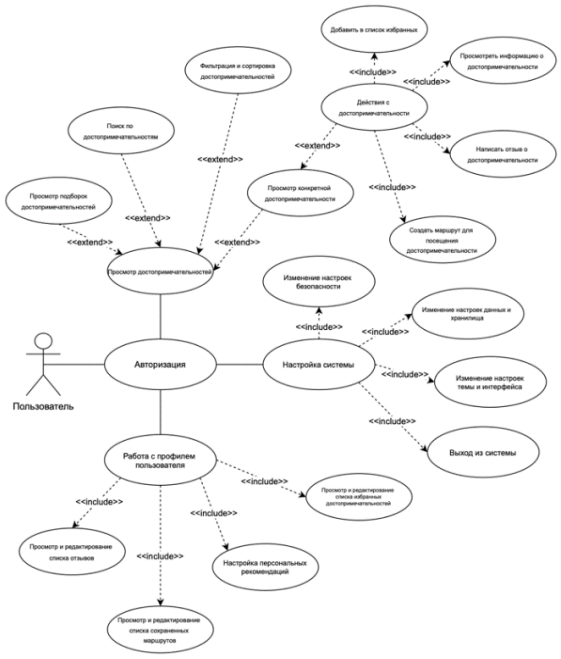


Рисунок 1 - Диаграмма вариантов использования

Диаграмма наглядно показывает функциональные возможности системы, предоставленные пользователю, а также их взаимосвязи.

Заключение. Мобильное приложение для планирования туристических путешествий на основе пользовательских предпочтений обеспечивает путешественников современным и эффективным инструментом. Благодаря использованию современных технологий будет реализован продукт, который может быть использован широкой аудиторией различных пользователей для рационализации процесса планирования своих путешествий.

Список литературы

1. *Flutter documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: htpps://docs.flutter.dev/. Дата доступа: 14.02.2026*
2. *Firebase documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа https://firebase.google.com/docs. Дата доступа: 14.02.2026*
3. *Использование диаграммы вариантов использования UML при проектировании программного обеспечения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://habr.com/ru/articles/566218/. Дата доступа: 16.02.2026*

UDC [004.42:621.395.721.5]+331.101.1

MOBILE APPLICATION FOR PLANNING TOURIST TRIPS BASED ON USER PREFERENCES AND ITS ERGONOMIC SUPPORT

Lahutsenkau P.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Franko E.P. – Cand. of Sci., Associate Professor of the Department of Engineering Psychology and Ergonomics

Annotation. The article examines the key features of a mobile travel planning application with using users preferences information to create personalized recommendations. The features described include preferences identification, trip planning, user interaction with map and attractions plages, review writing, profile management and system settings with a use case diagram provided.

Keywords: mobile application, travelling planning, user preferences, Dart, Flutter, Firebase.

УДК 004.94:677.02

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Лойко А.И.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Балтрукович П.И. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ИПиЭ

Аннотация. Проведен анализ существующих программных средств для автоматизации проектирования текстильных изделий. Выявлен недостаточный уровень цифровизации при создании моделей текстильных аксессуаров. В качестве решения данной проблемы разработано веб-приложение, использующее *3D*-шаблоны для автоматизации построения лекал текстильных изделий.

Ключевые слова: швейное производство, текстильные изделия, автоматизация, САПР.

Введение. В последние годы наблюдается рост спроса на текстильные изделия. Вместе с объемом потребления растут и требования к качеству производимых изделий, а периодические изменения в стилевых предпочтениях потребителей заставляют дизайнеров создавать новые решения [1]. Эти факторы способствуют постоянному увеличению нагрузки на швейные производства, вынуждая их находить и применять эффективные способы минимизации временных и материальных затрат при производстве изделий.

В данной статье рассмотрены современные программные решения для автоматизации швейного производства текстильных аксессуаров и описан процесс разработки нового программного средства, ориентированного на специфику проектирования сумок и рюкзаков.

Основная часть. Производственный процесс создания текстильных аксессуаров на современных швейных предприятиях основывается на автоматической раскладке лекал и вырезании деталей из ткани. Для этого необходимо наличие лекал изделия в цифровом виде. Их можно получить либо вручную с помощью оцифровки бумажных лекал, что требует значительных трудозатрат и усложняет внесение изменений в проект, либо программными системами автоматизированного проектирования (САПР) [2], которые представляют собой совокупность программных средств, предназначенных для автоматизации инженерных операций и коммуникации между участниками разработки [3]. Для решения задач швейной промышленности применяются различные типы систем, представленные на рисунке 1.

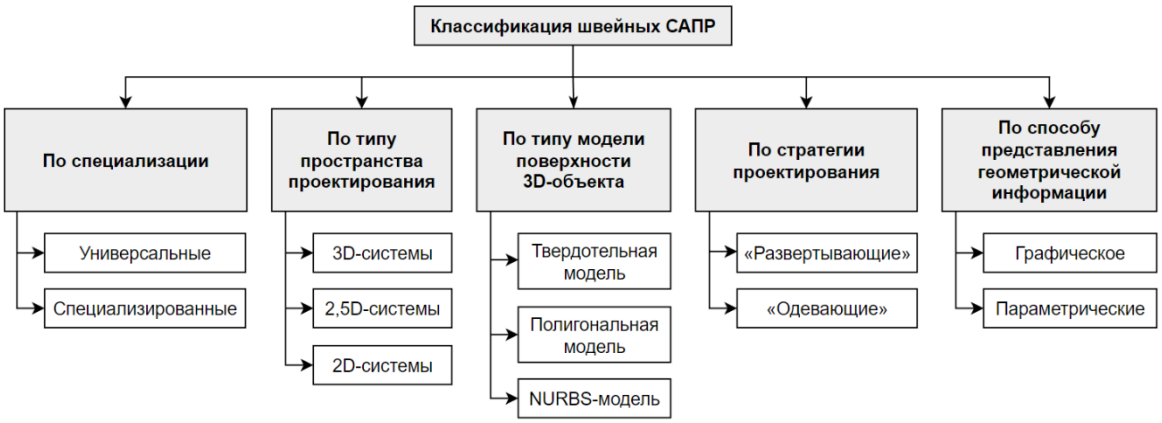


Рисунок 1 – Классификация швейных САПР

Существующие специализированные САПР, такие как «Ассоль», *Julivi*, *Optitex*, исторически ориентированы на массовое швейное производство и проектирование одежды из мягких, драпирующихся материалов. Работа с жесткими текстильными аксессуарами

(рюкзаками, сумками) в этих системах ведется по общей методике *2D*-моделирования лекал с последующей виртуальной сборкой в *3D*-сцене по «одевающей» стратегии [4, 5]. Однако специфика аксессуаров делает такой подход избыточно трудоемким.

Основное различие заключается в физико-механических свойствах материалов и геометрии изделия. В отличие от одежды, где ткань драпируется по фигуре человека, в аксессуарах детали (например, дно, стенки, карманы) изготавливаются из жестких материалов (полиэстер, кожа), и они сами задают форму изделию. При этом их стыковка проводится под строго определенными углами. Это требует от конструктора не столько навыков симуляции драпировки, сколько навыков пространственного геометрического моделирования.

Существующие же САПР не предоставляют специализированных инструментов для быстрого параметрического конструирования таких объемных форм, вынуждая конструктора выполнять ручную подгонку и пересборку *3D*-модели при каждом изменении проекта, что снижает эффективность работы.

В качестве решения данной проблемы предлагается разработка программы, основанной на использовании предварительно разработанных шаблонных форм деталей текстильных изделий. Такой подход позволяет заменить сложный процесс моделирования физического поведения ткани на конструирование изделия из типовых объемных элементов.

В данном случае процесс разработки программного средства для автоматизации проектирования текстильных аксессуаров предполагает выполнение определенных этапов, представленных на рисунке 2.

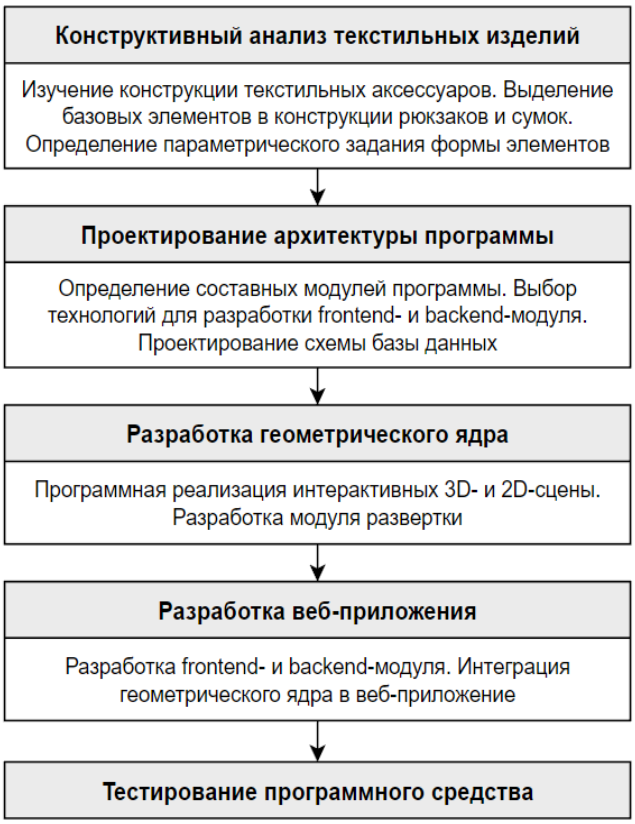


Рисунок 2 – Схема последовательности разработки программного средства

В целях обеспечения кроссплатформенности был выбран формат веб-приложения с клиент-серверной архитектурой. Для реализации геометрического ядра использована библиотека *JSCAD*, позволяющая создавать параметрические *3D*-модели на основе скриптов. Для визуализации *3D*-сцены была применена библиотека *Three.js*.

Backend-модуль разработан на *Java*-фреймворке *Spring Boot*. В качестве базы данных используется *MySQL*.

Особенностью разработки стала реализация алгоритмов автоматического построения

разверток. Поскольку материалы аксессуаров обладают высокой жесткостью, было допущено использование упрощенной геометрической модели («твердотельной»), что позволило отказаться от ресурсоемких алгоритмов симуляции ткани, применяемых в системах для моделирования одежды.

Разработанное веб-приложение включает редактор проекта, разделенный на окно *3D*-моделирования, окно просмотра развертки и панель инструментов. Пользователю доступны функции выбора базовой конструкции изделия, добавления и удаления дополнительных элементов (карманов, клапанов), изменения их параметров, а также выгрузки комплекта лекал в формате *SVG* для последующего раскроя.

Анализ материалов по изготовлению базовых моделей рюкзаков и сумок подтверждает работоспособность предложенного подхода за счет сокращения времени построения комплекта лекал из *3D*-модели по сравнению с ручным параметрическим черчением в *2D*-системах.

Заключение. Разработанное программное средство для автоматизации проектирования текстильных аксессуаров позволит уменьшить время и трудозатраты на разработку цифровых моделей изделий и их двухмерных лекал за счет использования библиотеки параметрических шаблонов. Кроссплатформенность веб-приложения делает его доступным пользователям независимо от их операционной системы и других настроек компьютера, а ориентация на жесткие материалы аксессуаров позволяет упростить геометрическое ядро по сравнению с универсальными САПР одежды. Практичный дизайн пользовательского интерфейса обеспечивает простоту работы с программой и позволяет минимизировать время на обучение для новых пользователей.

Список литературы

1. *Автоматизация расчетов экспериментального цеха швейного предприятия / А. А. Азанова, М. Н. Сафиуллина, А. М. Фасихова. Казань: Вестник Казанского технологического университета, 2013.*

2. *Подготовка и организация технологических процессов на швейном производстве : в 2 ч. Ч. 1 : учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / М. А. Труевцева.. М.: Издательский центр «Академия», 2018. – 288 с.*

3. *Обзор рынка и классификация отечественных и зарубежных САПР швейных изделий [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://studizba.com/lectures/inzhenerija/sapr-odezhdy/39249-obzor-rynka-i-klassifikacija-otechestvennyh-i-zarubezhnyh-sapr-shvejnyh-izdelij.html. Дата доступа: 15.02.2026.*

4. *Сравнительный анализ принципов разработки модельных конструкций в различных САПР одежды / Л. В. Кочесова. М.: Технико-технологические проблемы сервиса №1(11), 2010.*

5. *Применение трехмерных САПР в проектировании одежды: искусствоведческий и технологический анализ / Д. Н. Ахметханова, А. А. Смертина, Д. Х. Мамбетов. М.: Наукосфера. №6 (2), 2025.*

UDC 004.94:677.02

DEVELOPMENT OF A PROGRAM FOR AUTOMATING THE DESIGN OF TEXTILE PRODUCTS

Loika A.I.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Baltrukovich P.I. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of EPE

Annotation. An analysis of existing software for automated textile design was conducted. An insufficient level of digitalization in the creation of textile accessory models was identified. To address this issue, a web application was developed that uses 3D templates to automate the creation of textile patterns.

Keywords: sewing production, textile products, automation, CAD

УДК 004.92–004.8

СИСТЕМА VR-МУЗЕЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ С ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМ ГИДОМ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Масленко В.А., Малико Е.В.

Национальный детский технопарк, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Ильясова М.С. – магистр, ассистент кафедры ИПиЭ

Аннотация. В статье рассматривается процесс проектирования и программной реализации системы виртуального музея, посвящённого истории Минского автомобильного завода (МАЗ). Описана архитектура решения на базе игрового движка Unity и среды 3D-моделирования Blender. Особое внимание уделено созданию интеллектуального гида с помощью интеграции технологий OpenAI ChatGPT и Google Cloud APIs для обеспечения голосового взаимодействия в реальном времени.

Ключевые слова: виртуальная реальность, VR, искусственный интеллект, ИИ-гид, Unity, МАЗ, 3D-моделирование, ChatGPT API, Google Cloud STT/TTS

Введение. Современные технологии виртуальной реальности (VR) активно внедряются в сферу образования, культуры и просвещения. Одним из перспективных направлений является разработка виртуальных музеев, способных предоставить посетителям интерактивный и увлекательный опыт без необходимости физического присутствия. В частности, современные музеи и выставочные центры активно интегрируют виртуальные решения с целью повышения доступности экспонатов, расширения аудитории и создания интерактивной среды для пользователей.

Для Республики Беларусь Минский автомобильный завод (МАЗ) является символом инженерной мощи. Проект по созданию VR-музея техники МАЗ отличается высокой степенью новизны за счёт интеграции нескольких передовых технологий и подходов, которые в совокупности формируют уникальное пользовательское и образовательное решение [1].

Основная часть. В качестве платформы для разработки был выбран игровой движок Unity. Он представляет собой высокоуровневую компонентную систему взаимодействия, которая переводит события ввода в трёхмерные действия через пакет Unity XR Interaction Toolkit [2]. Использование версии 3.0 позволило применить новую архитектуру Input Readers для упрощения абстракции ввода.

Все 3D-модели экспонатов и окружения были созданы в программе Blender. Данный инструментарий позволил разработать детализированные цифровые копии техники, начиная от базовой геометрии и заканчивая наложением PBR-текстур для аутентичного отображения материалов [3].

Интеллектуальное взаимодействие реализовано через связку облачных сервисов:

1 Google Cloud Speech-to-Text: используется для преобразования голоса пользователя в текст в реальном времени [4].

2 OpenAI ChatGPT API: выполняет роль аналитического модуля, генерируя ответы через модель GPT-4o в режиме Chat Completions [5].

3 Google Cloud Text-to-Speech: преобразует текст в естественную речь с человекоподобной интонацией [4].

Виртуальная площадка музея организована в виде промышленного ангара, где представлены знаковые модели МАЗ: МАЗ-206, МАЗ-7310, МАЗ-500, Автозак-5336, МАЗ-537 (рисунок 1).



Рисунок 1 - Ангар с экспонатами

Рядом с каждым экспонатом размещены таблички с общей информацией об экспонате (рисунок 2).



Рисунок 2 – Общая информация о МАЗ-206

Перемещение в VR реализовано методом телепортации, что является стандартом для минимизации укачивания [2]. Пользователь с помощью контроллера указывает точку назначения, после чего нажимает кнопку на контроллере – перемещение выполняется с использованием XR Interaction Toolkit. Дрон-гид (рисунок 3) сопровождает пользователя, плавно следуя за ним по локации и предоставляя необходимую информацию.



Рисунок 3 – Модель гида

Для работы искусственного интеллекта (ИИ) была создана специализированная база знаний, включающая историю завода МАЗ, описание музея и его экспонатов, а также характеристики представленных моделей и их модификаций [6]. Это позволяет виртуальному гиду отвечать только на вопросы, связанные с музеем. При запросах вне темы гид уведомляет пользователя об ограничениях и предлагает задать вопросы об экспонатах или истории завода.

В качестве текстового процессора для виртуального гида была выбрана языковая модель семейства GPT, разработанная компанией OpenAI. Система реализует полный цикл

взаимодействия с пользователем: голосовое сообщение распознаётся и преобразуется в текст, после чего текстовый запрос передаётся системе ИИ. Полученный ответ обрабатывается и озвучивается, обеспечивая удобный и интуитивный формат общения.

Заключение. Разработанный проект предоставляет пользователю уникальную возможность погрузиться в виртуальный мир истории автомобильной техники МАЗ, свободно перемещаться по цифровым экспозициям и получать персонализированную информацию от интеллектуального гида в удобной форме. Такой подход позволяет не только расширить аудиторию музея, включая удалённых пользователей, но и повысить интерес к техническому наследию и образовательным направлениям, связанным с автомобилестроением и инженерией.

Благодаря модульной архитектуре, платформа обладает гибкостью в развитии, что даёт возможность дальнейшего масштабирования – добавления новых экспонатов, функций, языков и обучающих сценариев. Интеграция искусственного интеллекта обеспечивает высокую степень персонализации и адаптации под нужды разных категорий пользователей. Таким образом, реализация проекта вносит весомый вклад в цифровизацию музейной деятельности, популяризацию технических знаний и развитие интерактивных образовательных технологий.

Результаты разработки VR-музея автомобильной техники МАЗ были представлены на:

1 Областном этапе республиканского конкурса компьютерных разработок патриотической направленности «ПАТРИОТ.by» (3 место, г. Гродно и Гродненская область).

2 Районном, городском и областном этапах республиканского молодёжного проекта «100 идей для Беларуси» (дипломы победителя, г. Гомель и Гомельская область, г. Гродно и Гродненская область).

3 XXVII-ом областном конкурсе научно-технического творчества «Техноинтеллект» в Гомельском государственном университете имени Ф.Скорины.

Список литературы

1. *Официальный сайт ОАО «МАЗ» – управляющая компания холдинга «БЕЛАВТОМАЗ» [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://maz.by/. Дата доступа: 22.02.2026.*

2. *Unity XR Interaction Toolkit 3.0 Documentation [Electronic resource] : Unity Docs. Mode of access: https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.interaction.toolkit@3.0/. Date of access: 22.02.2026.*

3. *Blender 4.0 Reference Manual [Electronic resource] // Blender Foundation. Mode of access: https://docs.blender.org/manual/en/latest/. Date of access: 11.03.2025.*

4. *Google Cloud Speech-to-Text & Text-to-Speech Overview [Electronic resource] : Google Cloud Documentation. Mode of access: https://cloud.google.com/speech-to-text. Date of access: 22.02.2026.*

5. *OpenAI API Documentation: Chat Completions [Electronic resource] : OpenAI. Mode of access: https://developers.openai.com/api/reference/resources/chat/. Date of access: 22.02.2026.*

UDC 004.92–004.8

VR SYSTEM OF THE AUTOMOTIVE TECHNOLOGY MUSEUM WITH AN INTELLIGENT AI-BASED GUIDE

Maslenko U.A., Maliko E.V.

National Children Technopark, Minsk, Republic of Belarus

Ilyasova M.S. – Master of Technical Sciences, Assistant Lecturer of the Engineering Psychology and Ergonomics Department

Annotation. The article describes the design and software implementation process of a virtual museum system dedicated to the history of the Minsk Automobile Plant (MAZ). The architecture of the solution based on the Unity game engine and the Blender 3D modeling environment is presented. Special attention is given to the development of an intelligent guide through the integration of OpenAI ChatGPT technologies and Google Cloud APIs to provide real-time voice interaction.

Keywords: virtual reality, VR, artificial intelligence, AI guide, Unity, MAZ, 3D modeling, ChatGPT API, Google Cloud STT/TTS

УДК 004.774:004.4`2

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ГИБКИХ НАВЫКОВ РАБОТНИКОВ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА БАЗЕ ФРЕЙМВОРКОВ REACT, NEXT.JS

Муха Е.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Щербина Н.В. – ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. Рассматривается актуальность разработки веб-приложения для автоматизированной оценки гибких навыков работников производственных предприятий. Описывается архитектура системы на базе фреймворков Next.js и Spring Boot, принципы хранения данных в формате JSONB в СУБД PostgreSQL, а также интеграция психологических моделей с международными стандартами O*NET и ESCO.

Ключевые слова: Гибкие навыки (soft skills), веб-приложение, производственное предприятие, Next.js, Spring Boot, PostgreSQL, JSONB, модель Big Five, O*NET, оценка персонала

Введение. Современный этап развития экономики характеризуется цифровой трансформацией производственных процессов и переходом к принципам бережливого производства, что коренным образом меняет требования к компетенциям персонала. В условиях высокотехнологичной среды наряду с профессиональными знаниями (hard skills) критическое значение приобретают гибкие навыки (soft skills), определяющие способность работников эффективно взаимодействовать в коллективе, адаптироваться к изменениям и принимать обоснованные решения в условиях ограниченных ресурсов. Актуальность темы обусловлена необходимостью перехода к системным методам оценки компетенций в условиях отсутствия единых стандартов и высокой сложности разработки валидных психометрических инструментов для реального сектора экономики. Данное исследование направлено на автоматизацию процессов оценки с использованием научно обоснованных методик, таких как пятифакторная модель личности (Big Five) и ситуационные тесты (SJT), а также их синхронизацию с международными классификаторами профессий O*NET и ESCO. В работе описывается проектирование веб-приложения для комплексной оценки гибких навыков, которое позволяет сопоставлять личностные качества сотрудников с требованиями рынка труда через систему объективных метрик. В основу архитектуры системы положена концепция «Тройного стандарта», обеспечивающая интеграцию международных профессиональных стандартов и фундаментальных психологических моделей. Технологическая реализация платформы на базе серверного стека Spring Boot и клиентской части Next.js в сочетании с хранением данных в формате JSONB в СУБД PostgreSQL гарантирует необходимую адаптивность модели предметной области и высокую производительность при обработке многомерных данных.

Основная часть. В качестве технологического фундамента выбран стек на базе языка Java с использованием фреймворка Spring Boot для серверной части и библиотеки React в связке с фреймворком Next.js для клиентской стороны. Данное сочетание технологий обеспечивает надежность промышленного уровня, необходимую для интеграции в ИТ-контур производственных предприятий [2].

Использование СУБД PostgreSQL позволило выполнить эффективное хранение описаний компетенций, вариантов ответов ситуационных тестов (SJT) и динамических шкал оценивания реализовано с применением типа данных JSONB. Это решение исключает необходимость жесткой фиксации схемы таблиц при добавлении новых методик оценки или изменении весовых коэффициентов индикаторов, что обеспечивает адаптивность системы к различным отраслевым стандартам.

Взаимодействие всех технических модулей программы детально отражено на структурной схеме (рисунок 1). Архитектура системы построена на четком разделении зон ответственности и включает четыре основных уровня.

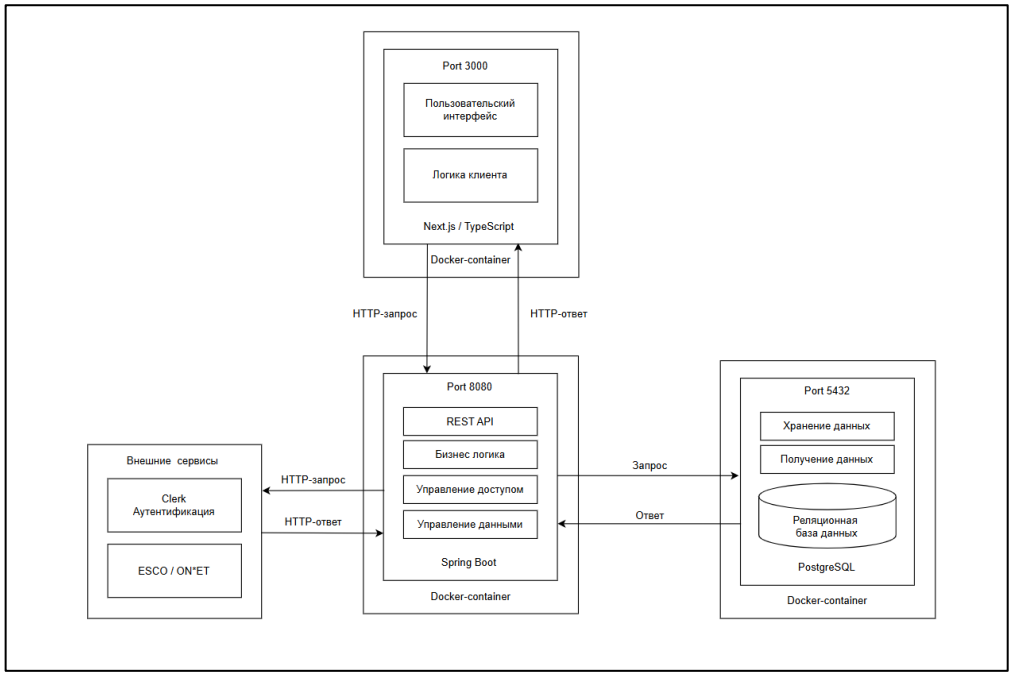


Рисунок 1 – Структурная схема взаимодействия компонентов веб-приложения для оценки гибких навыков

Согласно представленной схеме, техническая структура приложения включает следующие уровни:

1 Клиентская часть реализована на фреймворке Next.js. Данный модуль отвечает за формирование пользовательского интерфейса, управление состоянием приложения и обеспечение интерактивности процесса тестирования. Важной функцией является визуализация результатов оценки в виде графиков и диаграмм, что позволяет пользователю наглядно сопоставлять свои навыки с требуемыми профилями [2].

2 Серверная часть базируется на Spring Boot и выступает в роли центрального узла обработки информации. Серверный модуль реализует защищенный REST API, через который проходят все данные. Здесь сосредоточена основная бизнес-логика: алгоритмы автоматизированной сборки тестов, модули расчета баллов на основе ответов пользователя и механизмы интерпретации личностных качеств. Сервер обеспечивает разграничение прав доступа и безопасность передачи персональных данных сотрудников [2, 3].

3 База данных. PostgreSQL выполняет роль централизованного хранилища. В базе данных фиксируются профили пользователей, история прохождения тестов, нормативные значения для различных профессий и накопленная статистика. Использование механизмов индексации для полей JSONB гарантирует высокую скорость поиска и выборки данных даже при значительном объеме накопленных результатов оценки.

4 Внешние сервисы. Программа интегрирована с международными классификаторами профессий и навыков O*NET и ESCO. Эти сервисы предоставляют эталонные данные о компетенциях, необходимых для конкретных должностей. Интеграция позволяет сопоставлять результаты тестирования сотрудника с актуальными требованиями мирового рынка труда. Кроме того, на этом уровне задействована психологическая модель Big Five, выступающая фундаментом для интерпретации личностных черт и поведенческих паттернов работников [1, 4].

Визуальная составляющая приложения спроектирована с учетом различных сценариев использования. Зарегистрированные пользователи получают доступ к специализированному рабочему пространству. Страница пользователя с перечнем тестов приведена на рисунке 2.

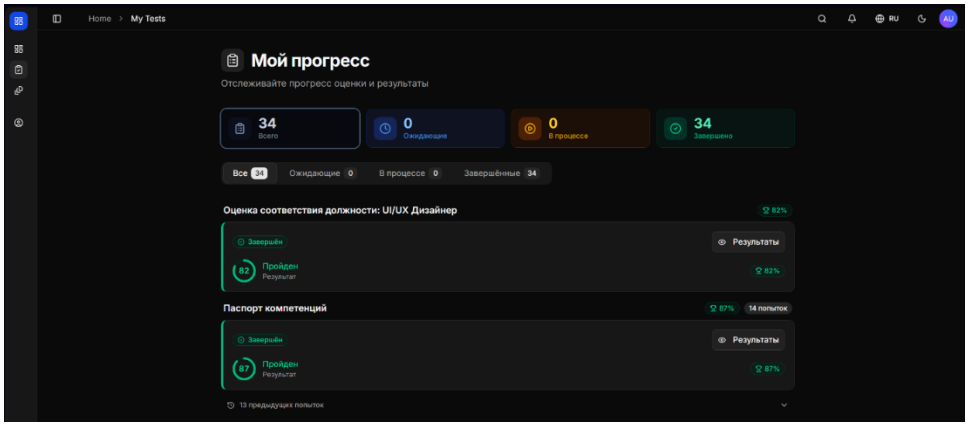


Рисунок 2 – Интерфейс пользователя: страница со списком тестов и статусом их выполнения

Данный интерфейс позволяет сотруднику отслеживать текущий прогресс и своевременно реагировать на назначенные планы оценки. Индивидуальные рекомендации, формируемые на основе анализа дефицитов навыков относительно стандартов O*NET, позволяют сотруднику сфокусироваться на наиболее критичных зонах развития, повышая его ценность в рамках производственного предприятия.

Заключение. В ходе выполнения работы спроектирована архитектура веб-приложения, обеспечивающая комплексную автоматизацию процессов оценки гибких навыков в производственной среде. Выбранный стек технологий доказал свою эффективность в создании защищенного и отзывчивого инструментария.

В работе реализована концепции «Тройного стандарта», объединяющей классификаторы O*NET и ESCO с фундаментальной психологической моделью Big Five. Это позволило создать универсальную систему метрик, которая переводит абстрактные понятия «мягких навыков» в плоскость объективных данных. Применение данного веб-приложения на производственных предприятиях позволяет кадровым службам более точно подбирать команды и планировать обучение персонала.

Список литературы

1. *Моргунов, Е. Б. Управление персоналом: исследование, оценка, обучение : учебник для вузов / Е. Б. Моргунов. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2023. – 424 с.*
2. *Васильев, А. Н. Java. Объектно-ориентированное программирование: учебное пособие / А. Н. Васильев. – Санкт-Петербург : Питер, 2022. – 400 с.*
3. *Шмелев, А. Г. Практикум по психодиагностике. Психометрические основы / А. Г. Шмелев. – Москва : Издательство МГУ, 2014. – 164 с.*
4. *Бодров, В. А. Психология профессиональной пригодности. Учебное пособие для вузов / В. А. Бодров. – Москва : ПЕР СЭ, 2021. – 511 с.*

UDC 004.774:004.4`2

WEB APPLICATION FOR SOFT SKILLS ASSESSMENT OF MANUFACTURING ENTERPRISE EMPLOYEES BASED ON REACT AND NEXT.JS FRAMEWORKS

Mukha E.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Shcherbina N.V. – Senior Lecturer at the Department of EPE

Annotation. The article discusses the relevance of developing a web application for the automated assessment of soft skills among manufacturing enterprise employees. It describes the system architecture based on Next.js and Spring Boot frameworks, the principles of data storage using the JSONB format in PostgreSQL DBMS, and the integration of psychological models with international O*NET and ESCO standards.

Keywords: Soft skills, web application, manufacturing enterprise, Next.js, Spring Boot, PostgreSQL, JSONB, Big Five model, O*NET, personnel assessment.

УДК 004.42:739.2

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ПЕРСОНАЛИЗАЦИИ ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Огиенко Н.Д.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Щербина Н.В. – ст. преподаватель кафедры ИПИЭ

Аннотация. В статье рассматривается процесс разработки веб-приложения для персонализации ювелирных украшений. Определены целевая аудитория, основные роли и их функциональные возможности. Сформулированы недостатки существующих аналогов и основные преимущества разрабатываемого веб-приложения.

Ключевые слова: веб-приложение, клиент-серверная модель, ювелирные изделия, конструктор, Java, JavaScript

Введение. Рынок онлайн-торговли ювелирными изделиями представляет собой динамично развивающийся сегмент электронной коммерции, охватывающий цифровые платформы и веб-сайты, специализирующиеся на реализации ювелирной продукции – от классических изделий из драгоценных металлов и камней до современных дизайнерских коллекций в трендовых стилях. Размер глобального рынка ювелирных изделий в 2025 году оценивался в 381,54 миллиарда долларов США. Ожидается, что к 2033 году размер рынка достигнет 578,45 миллиарда долларов со среднегодовым ростом 5,5 % с 2026 по 2033 год. Рынок в первую очередь обусловлен ростом свободных средств, меняющимися модными тенденциями и растущим спросом на роскошные и персонализированные аксессуары [1].

Разработка данного веб-приложения направлена на решение двух взаимосвязанных проблем современного ювелирного рынка. С одной стороны, она отвечает растущему спросу потребителей на персонализированные изделия. С другой стороны, разработка решает проблему продвижения и поиска клиентов для независимых мастеров-ювелиров.

Основная часть. Разрабатываемое веб-приложение для персонализации ювелирных изделий представляет собой объединение возможностей онлайн-магазина и социальной сети для взаимодействия мастеров-ювелиров и покупателя. Платформа, где мастера могут продвигать свои работы, находить клиентов и получать заказы на изготовление индивидуальных украшений, а пользователи могут создавать собственные дизайны, используя 3D-конструктор.

Целевую аудиторию можно разделить на любителей украшений ручной работы и индивидуальных мастеров, у которых возникает проблема с поиском покупателей и продвижением своего продукта.

Разрабатываемая платформа предусматривает три основные роли пользователей, каждая из которых обладает определенным набором функциональных возможностей, соответствующих целям взаимодействия с платформой:

– покупатель – это конечный клиент, заинтересованный в приобретении персонализированных ювелирных изделий;

– мастер-ювелир представляет собой независимого специалиста, создающего и реализующего ювелирные изделия;

– администратор обеспечивает функционирование платформы в рамках установленных правил.

Общие функции пользователей:

– просмотр каталога изделий с возможностями поиска и фильтрации контента;

– постановка реакций и написание комментариев на опубликованные работы;

– общение с другими пользователями через чат;

– создание уникального эскиза украшения через встроенный визуальный конструктор;

– публикация созданного эскиза на страницу общих заказов для поиска исполнителя;

– заключение договора на изготовление ювелирного украшения;
– отслеживание статусов заказов;
– управление профилем.

Отдельные функциональные возможности, которые веб-приложение предоставляет ювелирам:

– публикация работ в каталоге с формированием персонального портфолио;
– возможность откликаться на заказы пользователей;
– инициирование создания договора на изготовление ювелирных украшений;
– просмотр статистики.

Функции, реализуемые администратором:

– модерация карточек изделий и комментариев;
– проверка и утверждение договоров, заключаемых между пользователями;
– управление конструктором.

Архитектура веб-приложения построена на разделении на клиентскую и серверную части, обеспечивающему гибкость, масштабируемость и удобство сопровождения. Система реализована в соответствии с архитектурным паттерном MVC (Model-View-Controller), что позволяет достичь четкого разделения логики приложения, представления данных и управления потоком информации.

Серверная часть приложения выполнена на языке Java с использованием фреймворка Spring Boot, что обеспечивает высокую производительность, надежность и масштабируемость приложения. Spring Boot упрощает конфигурацию и развертывание серверных компонентов, предоставляя встроенные инструменты для работы с базой данных, безопасности и создания REST API [2].

Интерфейс реализован на JavaScript с применением нативных возможностей языка и библиотек для работы с DOM, что позволяет создавать динамические и отзывчивые пользовательские интерфейсы. Использование современных возможностей JavaScript обеспечивает модульность кода, переиспользование компонентов и эффективное управление состоянием приложения, включая сложные интерактивные элементы, такие как визуальный конструктор ювелирных изделий [3].

Для хранения данных используется реляционная СУБД PostgreSQL, обеспечивающая целостность данных, поддержку сложных запросов и высокую производительность при работе с большими объемами информации [4].

Для 3D-визуализации изделий в конструкторе применяется библиотека Three.js, реализующая рендеринг на основе WebGL с поддержкой физически корректного освещения. Для обмена сообщениями в реальном времени используется WebSocket, обеспечивающий мгновенную доставку сообщений в чате между мастером и клиентом.

При проведении анализа существующих платформ были выявлены значительные пробелы в предоставленных на рынке решений для персонализации ювелирных изделий. Решения, которые на данный момент представлены на рынке, ориентированы на простую публикацию товаров. Также они фокусируются только на готовых изделиях, что ограничивает возможности персонализации. В большинстве случаев платформы выступают посредниками, ограничивая прямое общение между участниками, что усложняет процесс согласования деталей заказа.

Основные недостатки аналогов сводятся к следующему:

1 Отсутствие возможности для самостоятельной кастомизации изделий, что вынуждает пользователей ограничиваться готовыми решениями или взаимодействовать с консультантами вручную.

2 Недостаточная реализация прямого взаимодействия между мастером и клиентом. Большинство платформ выступают посредниками, усложняя согласование деталей заказа.

3 Отсутствие социальных функций, снижающих вовлеченность пользователей и ограничивающих возможности продвижения работ независимых мастеров.

4 Отсутствие механизма продвижения своих работ индивидуальных мастеров. Это делает малозаметными работы независимых ювелиров, особенно начинающих мастеров без бюджета на рекламу, и вынуждает их полагаться на внешние каналы (социальные сети, выставки).

Разрабатываемое веб-приложение обладает рядом существенных преимуществ, обеспечивающих комплексное решение задач персонализации ювелирных изделий и решающих недостатки существующих аналогов. Ключевым преимуществом является наличие встроенного визуального конструктора, позволяющего пользователям самостоятельно создавать эскизы уникальных изделий путем комбинации элементов из библиотеки с мгновенной 3D-визуализацией результата. Система реализует прямое взаимодействие между мастером и покупателем через интегрированный чат в реальном времени, исключая посреднические барьеры и упрощая согласование деталей заказа, сроков и стоимости. Для повышения вовлеченности и продвижения работ внедрены социальные функции, такие как лайки, комментарии и избранное. Особое значение имеет механизм публикации пользовательских проектов в общую ленту заказов, где мастера могут самостоятельно выбирать подходящие задания и откликаться на них, это дает возможность пассивного поиска клиентов и формировании портфолио. Для мастеров предусмотрены инструменты самопродвижения: персональные страницы для публикации работ, статистика просмотров и история выполненных заказов. Интеграция модуля договоров подряда с возможностью электронного согласования условий и модерации администратором повышает юридическую защищенность обеих сторон сделки.

Заключение. Таким образом, в данной статье рассматривается веб-приложение для персонализации ювелирных изделий, которое позволит покупателям легко находить или заказать уникальное ювелирное изделие, избежав сложностей, связанных с поиском мастеров. Это сэкономит время пользователя и сделает процесс взаимодействия более прозрачным. Для мастеров-ювелиров веб-приложение станет инструментом для продвижения своих работ, расширения клиентской базы и увеличения доходов.

Также в данной статье были изложены основные функциональные возможности системы для 3 основных ролей пользователей. Необходимость разработки данного проекта подтвердил анализ существующих аналогов, который выявил существенные недостатки действующих платформ.

Список литературы

1. *Рынок ювелирных изделий [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/jewelry-market.*

2. *Java Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://docs.oracle.com/en/java/.*

3. *Руководство JavaScript [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://developer.mozilla.org/ru/docs/Web/JavaScript/Guide.*

4. *Документация к PostgreSQL 18.1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://postgrespro.ru/docs/postgresql/current.*

UDC 004.42:739.2

WEB APPLICATION FOR JEWELRY PERSONALIZATION

Ogienko N.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Shcherbina N.V. – Senior Lecturer at the department of EPE

Annotation. This article examines the development of a web application for jewelry personalization. The target audience, key roles, and their functionality are identified. The shortcomings of existing applications and the key advantages of the web application under development are outlined.

Keywords: web application, client-server model, jewelry, designer, Java, JavaScript

УДК [004.774+624]:331.101.1

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ОФОРМЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАКАЗОВ В СФЕРЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Писаренко Я.Д.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Пархоменко Д.А. – ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. Рассматривается актуальность программного средства для оформления и контроля выполнения заказов в сфере строительных работ, описывается архитектура программного средства, его функциональные возможности.

Ключевые слова: веб-приложение, оформление и контроль заказа, сфера строительных работ, эргономика.

Введение. На данный момент в сфере строительства Беларуси существует проблема отсутствия автоматизации работы между заказчиком, подрядчиком и поставщиком. Для оформления заказа, контроля выполнения работ и получения качественного результата заказчику необходимы объемные знания в сфере строительства. В современном обществе этими знаниями могут похвастаться единицы, поскольку для их получения необходимо профильное образование и существенная практика. Необходимость обращения к строительным и ремонтным работам возникает в обществе ежедневно в связи с вводом в эксплуатацию нового жилья, проведения обширных и мелких ремонтных работ, присутствия на рынке недвижимости строений, старших своего нормативного срока эксплуатации. Физические лица, обратившиеся в данную сферу в качестве заказчиков строительных работ, чаще всего сталкиваются с такими проблемами как выбор подрядчика поскольку непонятен путь поиска и критерии выбора специалиста. Следующей проблемой на пути заказчика является оценка стоимости работы исполнителя, его предложения. Для качественного решения данной проблемы необходимо привлечение узкого специалиста инженера-экономиста, что влечет дополнительные финансовые затраты, непредполагаемые заказчиком в момент формирования желания и бюджета для проведения ремонтно-строительных работ. Затем заказчик сталкивается с проблемой заключения договора с подрядчиком, который является плодом деятельности двух профильных специалистов юриста и инженера-экономиста, что опять же влечет дополнительные непредусмотренные расходы. В противном случае заказчик самостоятельно заключает неграмотный договор, что зачастую ведет к увеличению сроков и стоимости строительных работ, а также к брешам в защите интересов заказчика вплоть до заведомо слабой позиции в суде в случае возникновения судебных разбирательств во время или после оказания строительных работ Процесс выполнения ремонтно-строительных работ также является большой проблемой для заказчика не имеющего специальных знаний, поскольку по закону функция контроля качества выполняемых строительных работ является обязанностью заказчика. Это в свою очередь требует от неграмотного в этой области заказчика привлекать двух специалистов: инженера-строителя и специалиста технического надзора.

В связи с вышеизложенными фактами, разработка приложения для автоматизации заказа и контроля выполнения заказов в сфере строительных работ, благоприятно скажется на экономической и социальной сфере Республики Беларусь, поскольку облегчит процесс проведения и оказания строительных услуг, что позволит увеличить объем оказываемых услуг и сократить число некачественно проведенных работ, что в свою очередь позволит сохранить финансовые ресурсы в данной области и перераспределить их в другие сферы жизни населения, тем самым увеличив уровень своей жизни. Также данное приложение поможет облегчить ситуацию в области экологии страны путем снижения отходов строительных материалов и работ, обеспечит более бережное использование ресурсов в сфере строительства.

С точки зрения эргономики, данное приложение решает ключевую проблему отрасли: высокий порог входа для заказчика, за счёт переноса экспертных функций с человека на систему. Оно выступает в роли структурированного цифрового посредника: заменяет хаотичный поиск подрядчиков персонализированным каталогом с рейтингами, компенсирует отсутствие юридических и технических знаний готовыми шаблонами документов и пошаговыми чек-листами, а также снижает когнитивную нагрузку за счёт автоматизации согласований, контроля сроков и объективной приёмки работ через инструменты сравнения с допусками. В результате сложный, стрессовый процесс превращается в управляемый, прозрачный рабочий контур, что минимизирует риски, ошибки и непредвиденные издержки для всех участников.

Основная часть. Языком программирования при разработке программного средства для оформления и контроля выполнения заказа в сфере строительных работ выбран Java, ввиду обеспечения им платформенной независимости, высокого уровня безопасности и поддержки многопоточности. Язык предоставляет обширное количество стандартных библиотек, возможности которых удовлетворяют все потребности при разработке программы [1].

Разделение сред разработки обусловлено специализацией языков и инструментов. IntelliJ IDEA является стандартом для Java-разработки благодаря глубокой интеграции с системами сборки (Maven/Gradle) и мощным инструментам рефакторинга кода. Это ускорит разработку бэкенда и минимизирует количество ошибок. Visual Studio Code, напротив, выбран за легкость и гибкость при работе с клиентскими технологиями. Обширная библиотека плагинов позволяет эффективно работать с JavaScript, HTML и CSS, а также подключаться к базе данных для быстрого тестирования запросов.

В качестве хранилища данных об аккаунтах и информации, выбрана база данных PostgreSQL. PostgreSQL – объектно-реляционная СУБД. Это значит, что она поддерживает и объектный, и реляционный подход [2]. В большинстве СУБД, рассчитанных на средние и небольшие проекты, есть ограничения по объему базы и количеству записей в ней. В PostgreSQL ограничений нет [3].

Программное средство предназначено для решения задач, которые сформулированы как предоставление заказчику возможности быстрого и безопасного проведения строительных работ на всех этапах, автоматизация работы специалистов по привлечению высокооплачиваемых квалифицированных работников, создание единой платформы предложений в сфере строительных работ. В связи с этим возникает необходимость определения конечных пользователей программы.

Конечными пользователями программного средства являются заказчики строительных услуг, подрядчики, в качестве исполнителей заказываемых услуг, и поставщики, предоставляющие материалы как подрядчикам, так и поставщикам. Соответственно, веб-приложение имеет три модуля в которых отображается полный цикл взаимодействия между каждыми двумя ролями: заказчик-подрядчик, заказчик-поставщик и подрядчик-поставщик.

Функциональность приложения охватывает полный цикл оформления и контроля выполнения заказа. Работа пользователя начинается с регистрации или входа в систему. Реализован механизм аутентификации, предусматривающий проверку корректности введённых данных и предоставление доступа к персонализированным функциям. После авторизации заказчик имеет возможность выбора подрядчика, а также возможность доступа к работе в модуле заказчик-подрядчик.

Также в веб-приложении реализован модуль взаимодействия заказчика и поставщика. Данный модуль включает в себя такие функции как: выбор необходимых материалов со стороны заказчика, выбор поставщика со стороны заказчика, просмотр и подписание пакета документов заказчик-поставщик, отказ от подписания данного пакета документов, а также просмотр операционного графика.

В приложении предусмотрен третий блок – модуль взаимодействия между подрядчиком и поставщиком.

Диаграмма вариантов использования приложения представлена на рисунке 1.

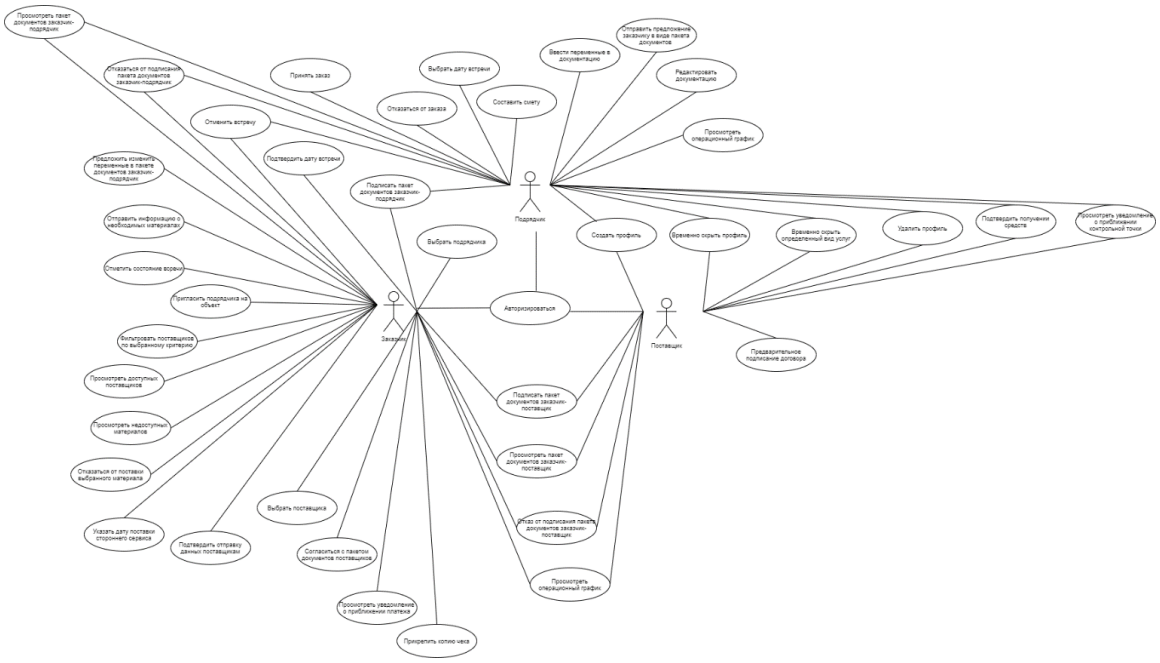


Рисунок 1 – Диаграмма вариантов использования веб-приложения для оформления и контроля выполнения заказов в сфере строительных работ

Заключение. Разработанное программное средство позволяет оформлять заказы на выбранные услуги в сфере строительных работ, а также проводить контроль выполнения данных заказов, оказывает документальную поддержку всем задействованным сторонам на каждом этапе работы. В процессе проектирования и реализации были учтены современные требования к функциональности, надежности и удобству подобных сервисов.

Список литературы

1. *Объектно-ориентированное программирование [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://sky.pro/wiki/java/oop-v-java-osnovnye-principy/.*
2. *PostgreSQL [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://blog.skillfactory.ru/glossary/postgresql/.*
3. *PostgreSQL [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://blog.skillfactory.ru/glossary/postgresql/*

UDC [004.774+624]:331.101.1

WEB APPLICATION FOR PLACEMENT AND CONTROL OF ORDERS IN THE FIELD OF CONSTRUCTION WORK AND ITS ERGONOMIC SUPPORT

Pisarenko Y.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Parhomenko D.A. – Senior Lecturer at the Department of EPE

Annotation. This paper examines the relevance of software for processing and monitoring orders in the field of construction, describes the software architecture and its functionality.

Keywords: web application, order processing and control, construction work, ergonomics.

УДК 621.438:621.928

ИНЕРЦИОННЫЙ СЕПАРАТОР ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

Абдуллина А.А.

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

Научный руководитель: Шарипов И.И. – к.т.н., доцент кафедры ИГ

Аннотация. Рассмотрена проблема абразивного износа компрессоров газотурбинных установок из-за запыленности входного воздуха. Предложена конструкция инерционного сепаратора в качестве устройства предварительной очистки. Методом численного моделирования установлено, что при скоростях до 1 м/с эффективность улавливания частиц свыше 60 мкм достигает 96%. Внедрение устройства снижает риск аварий и повышает ресурс оборудования

Ключевые слова: промышленная безопасность, ГТУ, пылеулавливание, инерционный сепаратор, численное моделирование, абразивный износ, очистка воздуха, энергоэффективность

Введение. Газотурбинные установки занимают ключевое место в современной энергетике и промышленности, обеспечивая до 25–30% выработки электроэнергии [1]. Однако атмосферный воздух в промышленных зонах содержит значительное количество твёрдых абразивных частиц: кварцевая пыль, песок, зола, продукты коррозии металлов. Концентрация взвешенных частиц может достигать 50–100 мг/м³ в неблагоприятных условиях.

При попадании в проточную часть компрессора абразивные частицы вызывают эрозию рабочих лопаток, что приводит к снижению падению КПД установки и увеличению удельного расхода топлива. В критических случаях эрозия становится причиной вибрации, дисбаланса ротора и аварийной остановки энергоблока, что нарушает промышленную безопасность объекта и ведёт к значительным экономическим потерям [2]. Существующие системы воздухоочистки для ГТУ включают циклонные сепараторы, рукавные фильтры и фильтры тонкой очистки. Однако они имеют существенные недостатки: циклоны обладают высоким гидравлическим сопротивлением, что снижает мощность турбины; фильтры требуют частой замены и создают проблемы с утилизацией загрязнённых материалов. В контексте рационального природопользования и «зелёной» энергетики возникает потребность в энергоэффективных устройствах предварительной очистки с низким сопротивлением потоку.

В данной работе автором произведена оценка эффективности разработанного инерционного сепаратора для защиты входного тракта ГТУ от абразивных частиц в контексте повышения промышленной безопасности.

Основная часть. Предварительно была создана трехмерная модель устройства программе КОМПАС-3D v23. Конструкция включает: входной патрубок прямоугольного сечения, корпус с пылесборным бункером, сепарационную решётку с V-образными элементами, расположенными в шахматном порядке навстречу к потоку, и выходной патрубок (рисунок 1). Принцип работы устройства следующий: запыленный газовый поток, проходя через сепарационные элементы, многократно искривляется, вследствие чего твёрдые частицы под действием инерционных и центробежных сил выбиваются из потока и отклоняются от линий тока газа. Отскочив от поверхности элементов, частицы попадают в застойные зоны с низкой скоростью и под действием гравитации осаждаются в пылесборный бункер, тогда как очищенный газ беспрепятственно выходит через выходной патрубок. А многопрофильная сепарационная решетка позволяет уменьшить эффект возвратных потоков, тем самым геометрия устройства оптимизирована для минимизации зон застоя и вторичных вихрей [3].

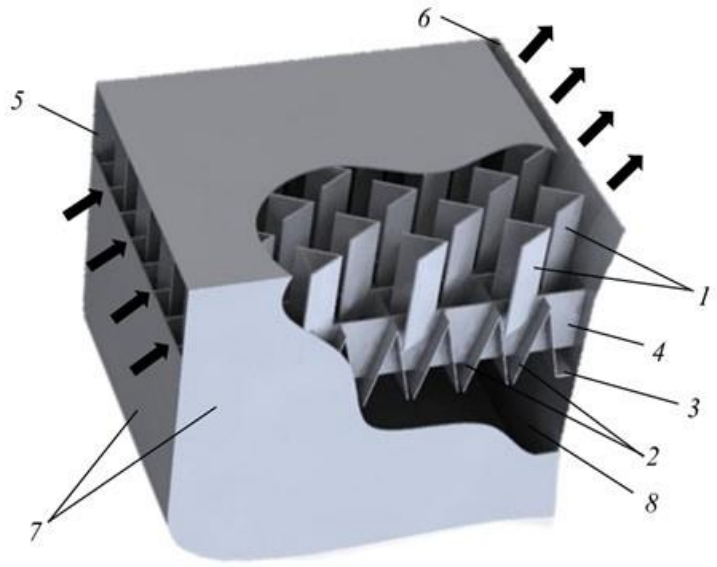


Рисунок 1 – Трехмерная модель устройства: 1 – сепарационные элементы; 2 –сепарирующая решетка; 3 – пластина; 4 – перпендикулярная пластина; 5 – входной патрубок; 6 – выходной патрубок; 7 – корпус; 8 – пылесборный бункер

Исследование проводилось методом вычислительной гидродинамики в программном комплексе ANSYS Fluent 2023 R1. Данный метод позволяет детально изучить структуру газового потока и траектории частиц без изготовления физического прототипа, что снижает затраты на исследование. На входе задавался профиль скорости от 0,5 до 5 м/с, на выходе – атмосферное давление, на боковых стенках – условие упругого отскока для частиц и прилипания на нижней части для имитации бункера. Также задавались следующие параметры частиц: плотность ρ 1000 кг/м³, диаметр от 10 до 200 мкм

В ходе серии вычислительных экспериментов получены зависимости фракционной эффективности улавливания от диаметра частиц при пяти различных скоростях входного потока w (таблица 1).

Таблица 1 – Зависимость фракционной эффективности *E* при различной скорости входного потока *w*

Диаметр частица *a*, мкм	**Скорость входного потока w, м/с**			
	0,5	**1**	**3**	**5**
	Фракционная эффективность *E*			
10	0	0	0	0
11	0	0	0	0
13	0,21	0	0	0
15	0,23	0	0	0
17	0,26	0,13	0	0
20	0,30	0,22	0	0
23	0,36	0,24	0	0
26	0,40	0,26	0	0
30	0,47	0,46	0,19	0
35	0,56	0,74	0,21	0
40	0,69	0,82	0,31	0,26
46	0,87	0,82	0,58	0,46
52	0,94	0,93	0,80	0,57

Продолжение таблицы 1

60	0,86	0,96	0,74	0,51
69	0,98	0,97	0,62	0,56
79	1	0,98	0,64	0,53
91	1	0,98	0,72	0,46
105	1	0,97	0,60	0,44
120	1	0,94	0,51	0,39
136	1	0,96	0,45	0,38
158	1	0,97	0,43	0,32
162	1	0,95	0,38	0,32
209	1	0,97	0,41	0,31

Анализ полученных значений показывает монотонный рост эффективности с увеличением диаметра частиц вследствие действия инерционных сил, выбивающих их из потока при огибании сепарационных элементов. Наибольшая эффективность достигается в диапазоне низких скоростей до 1 м/с: для частиц диаметром 40 мкм эффективность составляет 0,75, для 60 мкм – 0,9, для 79 мкм – 0,99. При увеличении входной скорости выше данного значения наблюдается резкое уменьшение эффективности, что связано с эффектом возврата частиц обратно в поток, так как после выбивания частицы из тока газа, при высоких скоростях она обладает достаточным значением импульса, позволяющим вернуться ей обратно в действующий поток. Данный эффект ограничивает применение устройства в высокоскоростных трактах пневмотранспорта, но не является препятствием для систем воздухозабора ГТУ, где скорости обычно не превышают 1–2 м/с.

Также было проведена оценка гидравлического сопротивления устройства при различных входных скоростях *w* (рисунок 2). В оптимальном режиме она не превышает 300 Па, что в 3–5 раз ниже показателей стандартных циклонов типа ЦН-15. Это критически важно для ГТУ, так как снижение сопротивления на входе позволяет сохранить мощность турбины и уменьшить расход топлива.

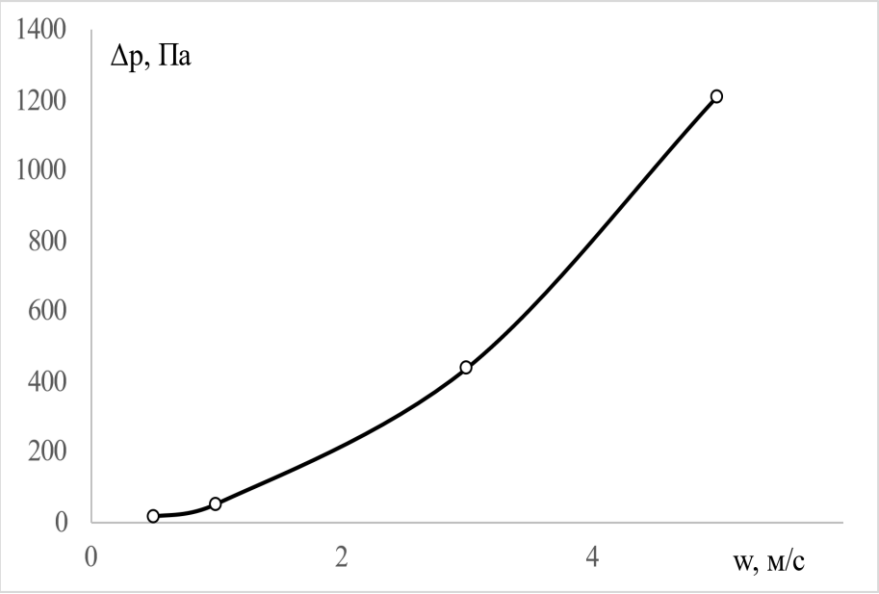


Рисунок 2 – График зависимости гидравлического сопротивления устройства Δp от скорости входного потока w

С точки зрения промышленной безопасности внедрение данной конструкции позволяет решить ряд критических задач. Снижение концентрации абразивных частиц на входе в компрессор способствует увеличению межремонтного периода оборудования на 20–30% за

счет уменьшения эрозионного износа лопаток. Кроме того, предотвращение неравномерного износа проточной части минимизирует риск возникновения дисбаланса ротора и внезапных аварийных остановок энергоблока. Низкое энергопотребление системы аспирации и возможность использования устройства в качестве первой ступени очистки также соответствуют принципам рационального природопользования и экологической безопасности предприятия [4].

Заключение. По итогам проведенного численного исследования подтверждена работоспособность разработанной модели инерционного сепаратора для условий эксплуатации газотурбинных установок. Установлено, что оптимальным режимом работы устройства является диапазон входных скоростей до 1 м/с, в котором аппарат обеспечивает высокую степень очистки воздушного потока от частиц размером более 40 мкм с эффективностью от 80%. При этом гидравлическое сопротивление не превышает 300 Па, что позволяет интегрировать сепаратор во входной тракт без существенной потери мощности турбины.

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются изготовление физического прототипа для экспериментальной верификации расчетных данных, оптимизация геометрических параметров сепарационной решетки для расширения рабочего диапазона скоростей, а также экономическая оценка эффективности внедрения устройства на действующих энергообъектах ГТУ.

Исследование выполнено в рамках гранта Академии Наук Республики Татарстан на поддержку программ развития передовых инженерных школ республиканского значения «ТурбоПИШ», соглашение 1РПИШ от 19.12.2025 г.

Список литературы

1. *Методы очистки от угольной пыли уходящих газов на ТЭЦ / М. В. Маслобитов, Д. А. Козлов, Д. М. Булгаков, А. В. Рязанцева // Тенденции развития науки и образования. – 2021. – № 73-3. – С. 104-109. – DOI 10.18411/lj-05-2021-111. – EDN BHWQZQ.*

*2. Способы очистки сопловых лопаток газотрубинного двигателя от оксидов металлов / Д. И. Логинова, Д. Д. Фомина, О. А. Федотова, В. З. Пойлов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2023. – № 1. – С. 19-34. – DOI 10.15593/2224-9400/2023.1.02. – EDN CRVOLK.*2

3. *Сепарационное устройство с дугообразными элементами для улавливания частиц катализатора в реакторе с псевдоожиженным слоем / В. Э. Зинуров, Э. И. Салахова, А. В. Дмитриев [и др.] // Вестник Технологического университета. – 2024. – Т. 27, № 4. – С. 62-66. – DOI 10.55421/1998-7072_2024_27_4_62. – EDN AVLDUP.*

4. *Технико-экономическое обоснование внедрения сепарационных устройств с дугообразными элементами в реакторах с псевдоожиженным слоем / В. Э. Зинуров, Э. И. Салахова, И. Н. Мадышев, А. А. Абдуллина // Вестник Самарского государственного экономического университета. – 2023. – № 12(230). – С. 36-49. – DOI 10.46554/1993-0453-2023-12-230-36-49. – EDN IJLPLT.*

UDC 621.438:621.928

INERTIAL SEPARATOR FOR IMPROVING INDUSTRIAL SAFETY OF GAS-TURBINE INSTALLATIONS

Abdullina A.A.

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Sharipov I.I. – Cand. of Sci., associate professor of the department of IG

Annotation. The problem of abrasive wear of gas turbine compressors due to dustiness of the inlet air is considered. The design of an inertial separator as a pre-treatment device is proposed. By numerical modeling, it is established that at speeds up to 1 m/s, the efficiency of capturing particles over 60 μm reaches 96%. The device implementation reduces the risk of accidents and increases the equipment resource.

Keywords: industrial safety, GTE, dust collection, inertial separator, numerical modeling, abrasive wear, air purification, energy efficiency

УДК 004.774:366.2

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЛИЧНЫМИ ФИНАНСАМИ С АНАЛИТИКОЙ РАСХОДОВ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕМ БЮДЖЕТА

Бакун А.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Николаев А.Ю. – ассистент кафедры ИПиЭ

Аннотация. В работе представлено веб-приложение для управления личными финансами с функциями учета, аналитики и прогнозирования бюджета. Описаны функционал, архитектура системы и эргономическое проектирование интерфейса. Особое внимание уделено эргономическому проектированию интерфейса. Разработанное веб-приложение повышает наглядность финансовой информации и упрощает планирование бюджета.

Ключевые слова: веб-приложение, личные финансы, эргономическое проектирование, интерфейс, прогнозирование бюджета

Введение. Рост интереса к управлению личным бюджетом обусловлен необходимостью контроля расходов в текущих экономических условиях. Многие пользователи по-прежнему ведут учёт вручную, что требует значительных временных затрат и часто приводит к ошибкам [1]. Существующие на рынке решения имеют ряд ограничений. Например, сервис «Дзен-мани» обладает широким функционалом, но сложен для освоения новичками [2]. Приложение «CoinKeeper» отличается простотой, но не имеет веб-версии и инструментов прогнозирования [3]. Банковские сервисы вроде «Альфа-Мобайл» ориентированы на транзакции, а не на планирование [4].

Целью данной работы является разработка веб-приложения для управления личными финансами. Система должна обеспечивать учет операций, глубокую аналитику и прогнозирование бюджета. Важным аспектом выступает эргономичность интерфейса, так как работа с финансовыми данными требует высокой концентрации.

Основная часть. Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

– выполнить анализ существующих аналогов веб-приложений для управления финансами;

– определить список функций, необходимых для эффективной работы системы;

– осуществить эргономическое проектирование приложения;

– разработать сценарии взаимодействия пользователя с системой.

Для реализации задач разработан следующий функционал приложения:

– регистрация и авторизация пользователя;

– добавление операций дохода и расхода;

– просмотр аналитики расходов по категориям и месяцам;

– установка месячных лимитов для категорий расходов;

– создание и отслеживание финансовых целей;

– прогнозирование будущих доходов и расходов.

Деятельность пользователя зависит от выполняемых им действий в ходе работы в системе. На рисунке 1 представлена диаграмма вариантов использования данного проекта.

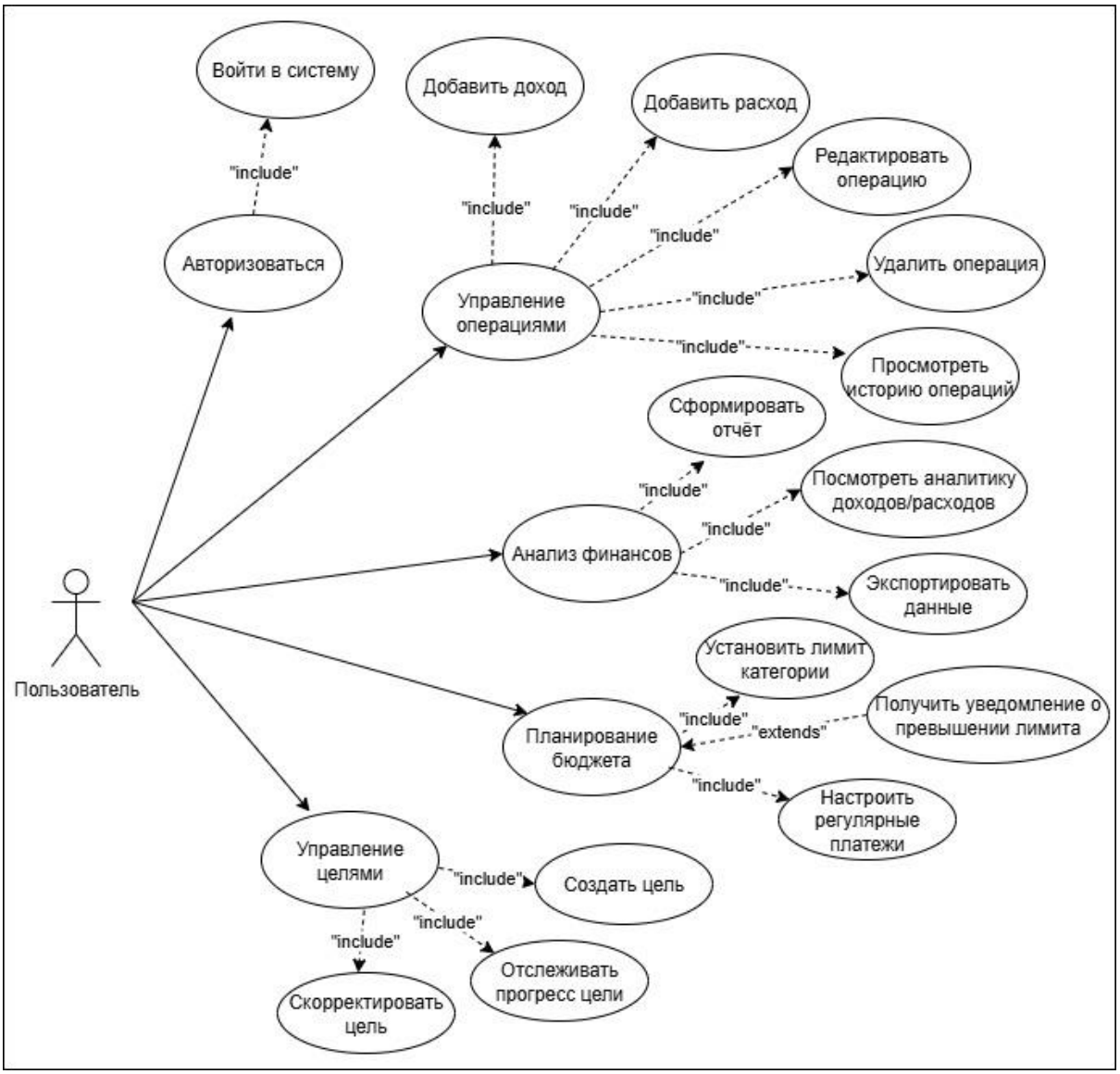


Рисунок 1 – Диаграмма вариантов использования

Диаграмма вариантов использования описывает функции системы, которые могут быть выполнены актёрами [5]. Основным актёром выступает Пользователь, который взаимодействует с системой для достижения финансовой дисциплины. Система берет на себя задачи хранения данных, их обработки и вычислений. Веб-приложение реализовано на основе архитектуры «клиент-сервер». Это обеспечивает кроссплатформенность и доступность с любого устройства.

Разработка велась в среде Visual Studio Code под операционной системой Windows 10. Серверная часть написана на языке Ruby с использованием фреймворка Ruby on Rails, что обеспечивает чистоту кода и удобство масштабирования. Клиентская часть реализована на TypeScript, что позволяет повысить надёжность кода за счёт статической типизации. Для хранения данных выбрана реляционная СУБД PostgreSQL, гарантирующая целостность и надёжность финансовой информации.

При проектировании интерфейса использовались принципы эргономики систем «человек-компьютер-среда» [6]. Были сформулированы единичные эргономические требования по группам «Управляемость» и «Освояемость». Особое внимание уделено визуальной иерархии: ключевые действия вынесены на главный экран, а второстепенные функции сгруппированы в меню. Цветовая схема построена с учётом финансовых стереотипов: красный цвет обозначает расходы, зелёный – доходы, что позволяет пользователю мгновенно считывать информацию. Размер шрифта основного текста

установлен не менее 14 sp, а интерактивные элементы имеют достаточную площадь для комфортного нажатия на сенсорных экранах.

Оценка эргономичности проводилась по бинарной шкале с учетом весовых коэффициентов. Эргономическое свойство «Управляемость» составило 0,912. Эргономическое свойство «Освояемость» достигло значения 1,0. Итоговая эргономичность системы рассчитывалась по методике Шупейко (1).

$$Э = (0{,}912 * 0{,}8) + (1 * 0{,}2) = 0{,}929 \quad (1)$$

Высокое значение показателя свидетельствует о качественной проработке интерфейса. В ходе анализа выявлено требование, потребовавшее доработки – логичная группировка элементов управления. Для решения предложено использовать плавающую панель действий в нижней части экрана. Сценарий взаимодействия включает интуитивную навигацию и систему подсказок для новых пользователей.

Заключение. В процессе разработки приложения проанализированы основные запросы потенциальных пользователей. Изучены аналоги разрабатываемого приложения. Выполнены этапы эргономического проектирования. В результате проектирования разработано веб-приложение. Это является наиболее оптимальным решением с точки зрения удобства использования.

Веб-приложение реализует функционал сервиса для управления личными финансами. Его преимуществами являются глубокая аналитика и прогнозирование бюджета. Эргономичный интерфейс снижает риск ошибок пользователя. В дальнейшем планируется интеграция с банковскими API. Также возможно добавление элементов геймификации для повышения мотивации.

Список литературы

1. *Управление личными финансами в современных условиях [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-lichnymi-finansami-v-sovremennyh-usloviyah. – Дата доступа: 24.02.2026.*

2. *Дзен-мани [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://zenmoney.ru/. – Дата доступа: 24.02.2026.*

3. *CoinKeeper [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://about.coinkeeper.me/. – Дата доступа: 24.02.2026.*

4. *INSNC - мобильный банк онлайн [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.alfabank.by/insnc-app/. – Дата доступа: 24.02.2026.*

5. *UML – что это за язык моделирования и зачем нужен [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://blog.skillfactory.ru/glossary/uml/– Дата доступа: 26.02.2026.*

6. *Шупейко, И. Г. Эргономическое проектирование систем «человек – машина» : пособие / И. Г. Шупейко. – Минск : БГУИР, 2017. – 77 с..*

UDC 004.774:366.2

WEB APPLICATION FOR PERSONAL FINANCE MANAGEMENT WITH EXPENSE ANALYTICS AND BUDGET FORECASTING, AND ITS ERGONOMIC DESIGN

Bakun A.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Nikolaev A.Y. – assistant of the department of EPE

Annotation. The paper presents a web application for personal finance management with features for tracking, analytics, and budget forecasting. The functionality, system architecture, and ergonomic interface design are described. Special attention is paid to the ergonomic design of the interface. The developed web application increases the visibility of financial information and simplifies budget planning.

Keywords: web application, personal finance, ergonomic design, interface, budget forecasting

УДК 004.8:004

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Близнюк А.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Щербина Н.В. – ст. преподаватель кафедры ИПИЭ

Аннотация. Данная статья содержит в себе примеры интеграций искусственного интеллекта в современные информационные системы на примере крупнейшей компании Walmart, предоставляет краткие сведения о способах интеграции ИИ, а также описывает принцип создания ИИ-моделей. Определен оптимальный способ интеграции ИИ в предметной области – автоматизированная рассылка релизных писем.

Ключевые слова: искусственный интеллект, интеграция искусственного интеллекта, ИИ-ассистент, ИИ-агент, автоматизация процессов средствами ИИ, автоматизированная рассылка релизных писем.

Введение. Активное развитие средств машинного обучения и искусственного интеллекта (далее – ИИ) оказывает непосредственное влияние на современные информационные системы различными способами: расширение доступных функций, повышение эффективности и скорости обработки данных системами.

Внедрение искусственного интеллекта в приложения и системы является распространенной тенденцией на рынке современных приложений и систем в различных отраслях, так как позволяет сократить количество человеческих ошибок, а также снизить количество механических операций, выполняемых человеком.

Основная часть. Интеграция искусственного интеллекта в информационные системы позволяет расширить их функционал, а также улучшить производительность. Предоставим определение понятию «искусственный интеллект» в соответствии с законодательными нормами РБ. Искусственный интеллект – комплекс технологических решений, позволяющий имитировать когнитивные функции человека (в том числе самообучение и поиск решений без заранее заданного алгоритма) и получать при выполнении конкретных задач результаты, сопоставимые с результатами интеллектуальной деятельности человека, и включающий в себя информационно-коммуникационную инфраструктуру, программное обеспечение, процессы и сервисы по обработке данных и поиску решений [1]. Принцип работы ИИ заключается в сочетании большого объема данных с возможностями быстрой, итеративной обработки и интеллектуальными алгоритмами, что позволяет программам автоматически обучаться на базе закономерностей и признаков, содержащихся в данных [2]. Рассмотрим примеры использования ИИ в различных отраслях современного мира.

В сфере ретейла искусственный интеллект широко применяется в компании Walmart, которая является одной из крупнейших сетей розничной торговли в США. Возможности искусственного интеллекта интегрированы в интернет-магазин сети и используются для улучшения клиентского опыта при работе с ним: улучшено описание товаров, поиск товаров по каталогу, а также персонализации ассортимента под конкретного клиента. Для персонализации ассортимента используется ИИ-модель, которая носит название «Wallaby». Модель была обучена на данных компании о пользовательском поведении в рамках стратегии «Adaptive retail», которая диктует компаниям необходимость быстро адаптироваться к меняющимся потребностям клиентов. По результатам исследований было выявлено, что интеграция ИИ в электронную коммерцию сети позволило значительно увеличить ее показатели.

Также компания Walmart активно использует ИИ-помощников для своих сотрудников розничных магазинов. Голосовой помощник «Ask Sam» помогает сотрудникам находить продукты, проверять цены и получать доступ к информации о магазинах в более чем 5000 точек, повышая эффективность и вовлеченность клиентов, предоставляя легкодоступную ключевую информацию [3]. Использование голосовых помощников является распространенным вариантом работы с искусственным интеллектом среди представителей

розничного бизнеса, так как позволяет значительно снизить затраты на работу сотрудников. Таким образом, были рассмотрены примеры использования возможностей искусственного интеллекта в одной из самых крупных компаний мира.

Помимо интеграции искусственного интеллекта в крупные мировые компании его возможности могут быть широко использованы и в других предметных областях, к примеру, в автоматизированных рассылках. Рассылка релизных писем представляет собой особую область, тесно связанную с процессом разработки программного обеспечения. Данная область является обязательным этапом в процессе имплементации нового функционала, так как позволяет конечным пользователем ознакомиться с ним. Рассмотрим предметную область автоматизированных рассылок релизных писем. В данной предметной области интеграция ИИ расширяет функциональные возможности системы, ускоряет процесс совершения пользователем целевого действия – формирование и рассылка релизного письма. Рассмотрим веб-приложение Unisender, которое осуществляет автоматизированные рассылки. В данное веб-приложение также интегрирован ИИ-ассистент, который позволяет создать контент, соответствующий потребностям и запросам аудитории [4]. Также в рассылке релизных писем возможно применение интеграций искусственного интеллекта с целью проверки контента письма на наличие ошибок, перевода на другие языки. Таким образом, определим, что в рамках данной предметной области ИИ может выполнять следующие задачи: генерация контента, перевод на другие языки, проверка на наличие ошибок.

В современных информационных системах возможно использование искусственного интеллекта различными способами в зависимости от задач, которые на него возлагают: ИИ-ассистенты, автоматизация процессов средствами ИИ, ИИ-агенты.

Дадим краткое описание каждому из способов. ИИ-ассистенты является самым распространенным и дешевым способом интеграции искусственного интеллекта в информационную систему. ИИ-ассистент – это искусственный интеллект, адаптированный под конкретные задачи за счет интерфейса и базы для обучения нейросети [5]. В задачи ИИ-ассистента входит помощь человеку-пользователю в выполнении его задач: использование подсказок, генерация текста. Отметим, что, на данный момент времени, ИИ-ассистент является одним из самых доступных и распространенных способов интеграции искусственного интеллекта.

Автоматизация процессов – системы, которые умеют планировать шаги и выполнять цепочки действий (например, искать информацию, вызывать инструменты, формировать результат) [6]. Данный способ интеграции в бизнес-процессы компаний позволяет значительно сократить расходы на персонал и ускорить работу, так как подразумевает выполнение полного цикла операций.

ИИ-агенты (AI-агенты, агенты с искусственным интеллектом), по общему определению, есть (представляют собой) автономные системы, которые используют методы искусственного интеллекта для выработки обоснованных решений при достижении поставленных целей [7]. Данный способ интеграции позволяет делегировать выполнение сложных операций, подразумевающих принятие решение, искусственному интеллекту, что ускоряет скорость обработки данной информации, снижает риск ошибочно проведенного анализа данных, но также увеличивает риск принятия ошибочного решения.

Представленный выше список возможных интеграций искусственного интеллекта в современные информационные системы не являются окончательным, так как данная технология является активно развивающейся, но придерживается единых принципов работы. В рамках предметной области – рассылка релизных писем определим оптимальным способом интеграции ИИ – ИИ-ассистент, так как на основании представленного описания он может выполнять все поставленные задачи. Рассмотрим принцип построения моделей ИИ, который позволяет понять способ их работы.

Первым этапом является подготовка качественного набора данных, который будет соответствовать целям работы модели ИИ. На основании подготовленных наборов данных происходит обучение модели ИИ с использованием методов машинного обучения. Машинное обучение – это метод анализа данных, который автоматизирует построение аналитической модели [8]. Данный этап является одним из самых важных, так как его результаты напрямую влияют на качество работы обученной модели. Отметим, что современные модели ИИ

находятся в состоянии постоянного обучения на основании данных, которые к ним поступают. После обучения и моделирования модели происходит ее проверка и тестирования, успешное прохождения которого позволяет внедрить ее в работу. Таким образом, ИИ модели построены на принципе постоянного обучения на основании предоставленных данных.

На основании предоставленной информации можно сделать вывод, что процент использования искусственного интеллекта в современных информационных системах активно растет, компании внедряют ИИ-модели в свои внутренние бизнес-процессы с целью их оптимизации. При этом существуют различные способы внедрения искусственного интеллекта в работу информационных систем на основании поставленных задач.

Заключение. Предоставлены примеры интеграции искусственного интеллекта в современные информационные системы на основании данных крупнейшей компании в области розничного бизнеса. Описаны способы интеграции ИИ в системы, доступные функции для каждого из способов, на основании представленного описания определен оптимальный способ интеграции ИИ в предметной области – автоматизированная рассылка релизных писем. Таким способом интеграции стал – ИИ-ассистент, как наиболее экономически выгодный, выполняющий все необходимые функции. Также рассмотрен принцип построения ИИ-моделей с описанием каждого этапа построения, что позволяет ознакомиться со способом работы искусственного интеллекта и сделать вывод о его работе.

Список литературы

1. *Постановление совета министров Республики Беларусь от 21 апреля 2023 г. №280 «О мерах по реализации Указа Президента Республики Беларусь от 7 апреля 2022 г. № 136» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://etalonline.by/document/?regnum=c22300280. – Дата доступа: 10.01.2026.*

2. *Искусственный интеллект [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/iskusstvennyy-intellekt-2/viewer. – Дата доступа: 10.01.2026.*

3. *ИИ в ретейле: опыт мирового гиганта Walmart [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://napoleonit.ru/blog/ii-v-riteyle-opyt-mirovogo-giganta-walmart. – Дата доступа: 20.01.2026.*

4. *Создать или улучшить письмо с помощью AI-ассистента [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.unisender.com/ru/support/letter/newbuilder/kak-ispolzovat-ai-assistenta/#anchor-1. – Дата доступа: 20.01.2026.*

5. *Личный ИИ-ассистент [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://libeldoc.bsuir.by/bitstream/123456789/56850/1/Mahnovich_Lichnyj.pdf. – Дата доступа: 25.01.2026.*

6. *Искусственный интеллект – что это такое и как работает [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://blog.skillfactory.ru/iskusstvennyj-intellekt/. – Дата доступа: 25.01.2026.*

7. *О кибербезопасности ИИ-агентов [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/o-kiberbezopasnosti-ii-agentov/viewer. – Дата доступа: 01.02.2026.*

8. *Машинное обучение [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/mashinnoe-obuchenie/viewer. – Дата доступа: 01.02.2026.*

UDC 004.8:004

THE USAGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MODERN INFORMATION SYSTEMS

Blizniuk A.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Shcherbina N.V. – Senior Lecturer at the department of EPE

Аннотация. The article includes examples of integrations of Artificial Intelligence in modern information systems in the Walmart company, provides short description about ways of Artificial Intelligence integration and describes main principles of designing AI-models. The optimal way of Artificial Intelligence integration in the specific area – release notes has been defined.

Ключевые слова: artificial intelligence, artificial intelligence integrations, AI-assistant, AI-agent, processes automation by using AI, automative release notes.

УДК 004.5:159.9–044.332

ОСОБЕННОСТИ АДАПТАЦИИ КОГНИТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ СТУДЕНТА К ВНЕШНИМ ДИСТРАКТОРАМ В УСЛОВИЯХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Букшта С.А., Попов С.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Карпович Е.Б. – магистр техн. и тех., ст. преподаватель ИПиЭ

Аннотация. В работе исследуется влияние цифровой интерференции на когнитивную устойчивость студентов в условиях прерываемой деятельности. Определены модели адаптации к стрессовой нагрузке, среди которых преобладает эффект «когнитивного разогрева» – рост продуктивности после устранения дистракторов. Результаты показывают, что контролируемый когнитивный стресс может выступать инструментом временной интенсификации внимания, если интенсивность помех не превышает ресурсный порог индивида.

Ключевые слова: когнитивная адаптация, внимание, габитуация, стрессовая нагрузка

Введение. Эффективность обучения напрямую взаимосвязана с когнитивной устойчивостью студента к интерференции. В современных условиях основной формой помех выступают цифровые уведомления, которые вынуждают мозг к постоянному переключению между основной интеллектуальной задачей и второстепенным дистрактором.

Основная часть. Проблема «прерываемой деятельности» в IT-образовании заключается в том, что каждое уведомление вызывает реконфигурацию когнитивной установки. В рамках данного исследования изучается не абстрактное внимание, а процесс адаптации – способности системы минимизировать «цену переключения» при многократном воздействии помех.

Научная новизна работы заключается в анализе особенностей процесса адаптации когнитивных процессов к внешним дистракторам на примере ситуации возврата к решению логических задач после принудительного прерывания. Основные положения исследования базируются на модели ресурсного ограничения внимания, теории выделении значимого сигнала на фоне шума и понятии эффекта габитуации [1, 2].

Цель работы заключается в эмпирическом исследовании динамики когнитивной адаптации студентов к условиям цифровой интерференции.

Задачи исследования: количественно оценить показатели интенсивности внимания в условиях информационной перегрузки; определить уровень адаптации; определить типичные модели адаптации; выявить наличие эффекта габитуации с постепенного привыкания к дистракторам в ходе выполнения однотипных логических операций.

Этапы эксперимента предполагают создание условий для последовательного возникновения у испытуемого определенных функциональных состояний. Методика исследования заключается в выполнении тестовых задач в режиме без помех и в ситуации цифровой интерференции. Для реализации методики эксперимента был разработан веб-сайт, позволяющий собрать данные о продуктивности испытуемых при выполнении задач: фиксируется время, затраченное на решение задачи и количество совершенных ошибок на каждом этапе. Сложность задач (операций сложения и вычитания двухзначных чисел) во всех тестовых блоках одинакова. Каждый блок задач соответствует этапу эксперимента.

Блок А – этап стабилизации: решение 10 задач для фиксации индивидуальной нормы скорости и точности испытуемого.

Блок В – этап дезорганизации и адаптации: решение 10 задач, осложненных появлением модальных окон, представляющих собой дистракторы, с переменным интервалом (1-7 сек.), что имитирует условия информационной перегрузки.

Блок С – этап реституции (восстановления): решение финальных 10 задач в условиях отсутствия помех для выявления эффекта «когнитивного последействия», отражающего

особенности выполнения задач после стрессового блока.

Показатель адаптации определяется на основании данных выполнения «стрессового» блока. Учитывается время, а также правильность выполнения тестовых задач. Сравниваются показатели интенсивности внимания в первой половине этапа, представляющий условный период первичной дезорганизации, и во второй, являющейся периодом стабилизации [3]. Сокращение временных затрат к концу блока можно рассматривать как формирование механизма торможения помех и привыкание к дистрактору.

Сравнивая успешность выполнения испытуемыми тестовых задач в блоке А и блоке С (исходной нормы с результатами финального этапа), оценивается степень когнитивной активации. Если после исчезновения помех скорость решения превышает базовые значения, это интерпретируется как эффект эустресса, когда динамика свидетельствует о том, что контролируемый стресс от интерференции вывел систему внимания на более высокий уровень продуктивности, сохранившийся и после устранения дистракторов [4]. В данном случае стрессовой блок проявил себя в качестве разминки для мозга. В противном случае уместно говорить о когнитивном утомлении испытуемого, характеризующимся истощением ресурсов внимания.

В рамках эмпирического исследования было проанализировано 83 результата прохождения методики. Полученные данные позволили выделить четыре типичные модели когнитивного поведения, различающиеся по характеру адаптации и когнитивных последствий.

Модель «Продуктивной адаптации» продемонстрировали 26,5% испытуемых. Она характеризуется успешным привыканием к помехам внутри стрессового блока, отображающихся в положительном показателе характере адаптации. После исчезновения дистракторов человек работает значительно быстрее, чем в начале теста. Это демонстрирует высокую пластичность внимания и формирование устойчивых когнитивных фильтров, превращающих стресс в фактор разогрева когнитивных функций.

Модель «Реактивной мобилизации» наблюдается у более 31% испытуемых. В данной модели субъект не достигает габитуации внутри блока с помехами, что отражается в отрицательном коэффициенте адаптации. Однако это компенсируется предельной концентрацией, что после снятия нагрузки приводит к кратковременной мобилизации и характеризуется превышением скорости работы испытуемого в финале над исходной нормой.

Модель «Истощающей адаптации» зафиксирована у примерно 18% испытуемых. В данном случае наблюдается успешный процесс адаптации к помехам внутри блока, однако это требует чрезмерных энергетических затрат. В результате после исчезновения помех скорость работы падает ниже базового уровня, что говорит об исчерпании когнитивного ресурса.

Модель «Когнитивного утомления» выявлена у 24,1% испытуемых. Она отражает перегрузку системы внимания: испытуемый не успевает адаптироваться к прерываниям и тратит избыточные силы на попытки восстановить контекст задачи. Наступает преждевременное утомление, при котором даже после устранения дистракторов продуктивность остается низкой. В данной модели цифровая интерференция выступает как исключительно деструктивный фактор, приводящий к снижению производительности и упадку эффективности.

Процентное соотношение моделей продемонстрировано на рисунке 1.

Анализ данных показывает, что влияние цифровой интерференции определяется характером ответа на стрессовую нагрузку, представленную на этапе дезорганизации. Преобладание моделей продуктивной адаптации и реактивной мобилизации (57,8% выборки) показывает, что такая нагрузка может выступать катализатором продуктивности в качестве эустресса. В то же время модели истощения и утомления (42,2%) указывают на существование ресурсного порога, за которым стрессовая нагрузка ведет к деградации деятельности. Выявленный превалирующий эффект разогрева позволяет рассматривать контролируемый когнитивный стресс как инструмент временной интенсификации функций внимания в цифровой среде.

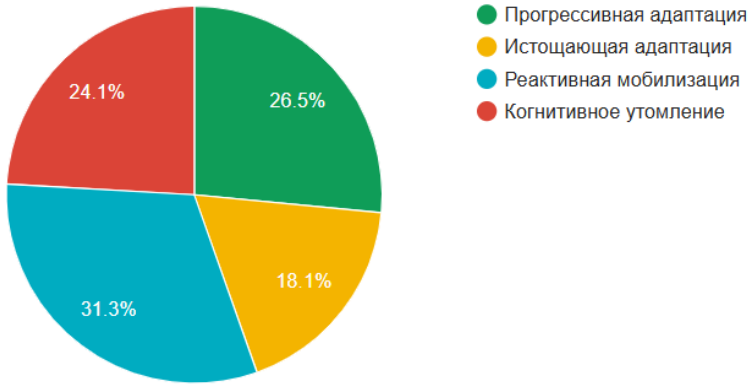


Рисунок 1 – Диаграмма процентного соотношения

Заключение. На основе проведенного исследования установлено, что процесс когнитивной адаптации к цифровой интерференции носит вариативный характер. Выявленные модели демонстрируют, что стрессовая нагрузка на этапе дезорганизации может привести к эффекту когнитивного разогрева, в то время как при превышении индивидуального ресурсного порога адаптация сменяется истощением и утомлением системы внимания.

Список литературы:

1. *Когнитивный ресурс структура, динамика и развитие [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://lib.ipran.ru/public/upload/papers/paper_27465403.pdf.*

2. *Габитуация: модели, механизмы, значение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://life-practic.ru/blog/obshchie-voprosy/gabituacziya/.*

3. *Количественная оценка продуктивности внимания в методике «Корректурная проба» Б. Бурдона [Электронный ресурс]. –Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/kolichestvennaya-otsenka-produktivnosti-vnimaniya-v-metodike-korrekturnaya-proba-b-burdona.*

4. *The Short-Term Stress Response – Mother Nature's Mechanism for Enhancing Protection and Performance Under Conditions of Threat, Challenge, and Opportunity [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5964013/#:~:text=Short%2Dterm%20stress%20may%20also,training%2Dinduced%20stress%2Doptimization.*

UDC 004.5:159.9–044.332

FEATURES OF ADAPTATION OF STUDENT'S COGNITIVE PROCESSES TO EXTERNAL DISTRACTIONS IN THE CONTEXT OF INTELLECTUAL ACTIVITY

Bukshta S.A., Popov S.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Karpovich E.B. – Master of Sci., Senior Lecturer at the Department of EPE

Annotation. The paper examines the effect of digital interference on the cognitive stability of students in conditions of interrupted activity. The models of adaptation to stress have been identified, among which the effect of «cognitive warming up» prevails – an increase in productivity after the elimination of distractors. The results show that controlled cognitive stress can act as a tool for temporary intensification of attention if the intensity of interference does not exceed the individual's resource threshold.

Keywords: cognitive adaptation, attention, habituation, stress load

УДК [004.42:338.48-32]+331.101.1

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ПОДБОРА И БРОНИРОВАНИЯ ЭКСКУРСИЙ И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Буяновская А.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,

г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Карпович Е.Б. – ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. В работе представлена структура веб-приложения для подбора и бронирования экскурсионных услуг, ориентированное на повышение удобства и эффективности взаимодействия пользователя с цифровыми туристическими сервисами. Описан функционал системы, особое внимание уделено вопросам эргономического обеспечения веб-приложения. Для формализации функциональных требований разработана диаграмма вариантов использования, отражающая основные процессы взаимодействия пользователя с системой.

Ключевые слова: веб-приложение, бронирование экскурсий, туристические услуги, эргономика интерфейса, пользовательский опыт

Введение. С развитием цифровых сервисов в туризме наблюдается тенденция к самостоятельному планированию путешествий, ключевую роль в котором играет онлайн-подбор экскурсий. Несмотря на обилие предложений, большинство платформ не удовлетворяют пользовательским ожиданиям из-за сложной навигации, не интуитивного интерфейса и неэффективных систем фильтрации, что приводит к высоким временным затратам на поиск [1].

Таким образом, актуальной задачей является проектирование веб-приложения для бронирования экскурсий с фокусом на эргономическое обеспечение [2]. Приоритетом разработки выступает создание логически выстроенного интерфейса, упрощающего процесс принятия решений и сокращающего количество операций пользователя.

Основная часть. Разрабатываемое веб-приложение представляет собой эргономичный инструмент для комплексного сопровождения пользователя при подборе и бронировании экскурсий. Функциональность системы охватывает регистрацию и авторизацию, поиск и фильтрацию экскурсий (по дате, стоимости, количеству участников), просмотр детальной информации, работу с избранным, бронирование с возможностью временного резервирования, оплату (картой или наличными) и управление учетной записью. Все данные хранятся в централизованной базе данных, обеспечивающей их целостность и доступность.

Ключевые пользовательские сценарии реализованы как последовательные логические шаги. После авторизации пользователь может осуществлять поиск экскурсий с помощью текстового ввода и фильтров. На странице экскурсии доступны детальное описание, чат для вопросов и добавление в избранное. Процесс бронирования включает выбор даты, указание количества участников и персональных данных; для удобства предусмотрена временная «заморозка» выбранного варианта до завершения оплаты. Оплата поддерживает несколько способов, а все этапы реализованы как включаемые сценарии для повышения надежности.

Отдельный блок функционала посвящен управлению учетной записью (история бронирований, смена пароля, выбор валюты, удаление профиля). Эргономическое проектирование интерфейса базируется на принципах наглядности и минимизации когнитивной нагрузки.

Для формализации требований разработана диаграмма вариантов использования [3], отражающая основные сценарии взаимодействия с системой (рисунок 1).

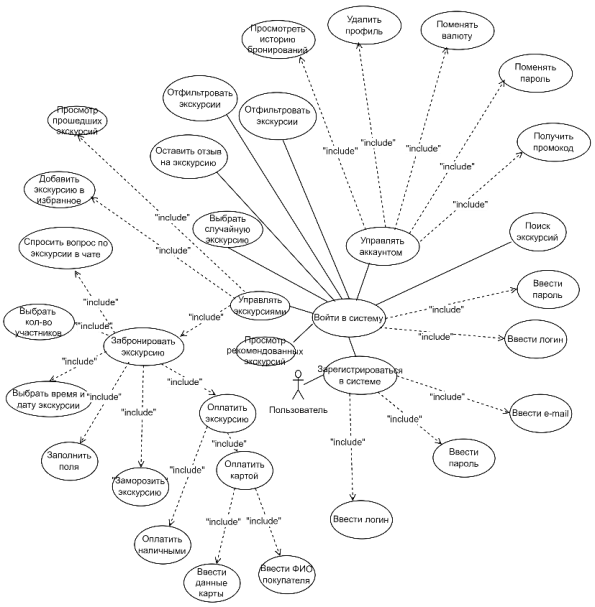


Рисунок 1 - Диаграмма вариантов использования

Данная диаграмма наглядно демонстрирует функциональные возможности системы и взаимосвязь основных пользовательских действий, подтверждая полноту и логическую завершенность проектируемого веб-приложения.

Заключение. Веб-приложение для подбора и бронирования экскурсий, разработанное с учетом эргономических требований, представляет собой эффективный инструмент для упрощения процесса планирования туристического досуга. Использование персонализированных рекомендаций, удобных средств поиска и интуитивно понятного интерфейса позволяет существенно сократить время выбора и повысить удовлетворенность пользователей.

Список литературы

1. *Обзор платформ для бронирования экскурсий [Электронный ресурс]. – Режим доступа https://t-j.ru/short/khochu-ekskursiyu/?utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.by%2F. Дата доступа: 04.09.2025*

2. *Эргономическое проектирование [Электронный ресурс]. – Режим доступа https://niiesys.ru/stati/ergonomicheskoe-proektirovanie/. Дата доступа: 08.04.2025*

3. *UML - диаграммы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://weeek.net/ru/blog/uml-diagrams.Дата доступа: 07.05.2025*

UDC [004.42:338.48-32]+331.101.1

WEB APPLICATION FOR SELECTION AND BOOKING OF EXCURSIONS AND ITS ERGONOMIC SUPPORT

Buyanouskaya A.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Karpovich E.B. – Senior Lecturer of the Department, Master of Engineering and Technology, Department of IPiE

Annotation. The paper presents the structure of a web application for selecting and booking excursion services, which is focused on improving the convenience and efficiency of user interaction with digital tourism services. The functionality of the system is described, with a special focus on the ergonomic design of the web application. To formalize the functional requirements, a use case diagram has been developed, which reflects the main processes of user interaction with the system.

Keywords: web application, tour booking, travel services, interface ergonomics, and user experience.

УДК 004:656.13.08

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ УЧЕТА И АНАЛИЗА ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ

Чирич Е.Д.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Воробей А.В. – магистр технических наук, ассистент кафедры ИПиЭ

Аннотация. Исследование направлено на разработку веб-приложения для учета, хранения и анализа данных о дорожно-транспортных происшествиях (ДТП). В рамках работы рассматриваются методы сбора и систематизации информации о ДТП, включая данные о месте происшествия, времени, участниках, типе столкновения, погодных условиях и степени ущерба. Разрабатываемое приложение обеспечит удобный интерфейс для ввода и обработки данных, визуализацию статистики и формирование отчетности. Результаты исследования могут быть использованы органами дорожной безопасности, страховыми компаниями и аналитическими службами для повышения уровня безопасности дорожного движения и снижения количества аварий.

Ключевые слова: дорожно-транспортные происшествия, веб-приложение, информационная система, база данных, анализ данных, статистика ДТП, безопасность дорожного движения, визуализация данных, учет происшествий

Введение. Учет и анализ дорожно-транспортных происшествий является важной задачей для обеспечения безопасности дорожного движения. Сбор и обработка информации о ДТП позволяют выявлять проблемные участки дорог, анализировать причины аварий и принимать меры по снижению их количества. Однако традиционные методы учета часто связаны с ручной обработкой данных и использованием разрозненных источников информации, что может снижать эффективность анализа и усложнять поиск необходимых данных [1].

Целью данного исследования является разработка веб-приложения для учета и анализа дорожно-транспортных происшествий. Система позволит сотрудникам вносить информацию о ДТП в единую базу данных, включая дату и время происшествия, регион, адрес, количество участников и категорию происшествия. На основе собранных данных приложение будет формировать статистику и визуализацию информации, что позволит более эффективно анализировать дорожную ситуацию и принимать обоснованные решения для повышения безопасности на дорогах.

Основная часть. Учет и анализ дорожно-транспортных происшествий требует систематизации большого объема информации, включая данные о месте происшествия, времени, участниках и категории ДТП. Для эффективного управления такими данными необходимо использование современных информационных систем, позволяющих хранить, обрабатывать и анализировать информацию в удобной форме.

Актуальность разработки веб-приложения для учета и анализа дорожно-транспортных происшествий обусловлена необходимостью централизованного хранения данных и их последующего анализа. Использование единой системы позволит упростить процесс регистрации ДТП, ускорить поиск информации и повысить точность статистических данных [2].

Разрабатываемое веб-приложение позволит сотрудникам вносить данные о ДТП в общую базу, а также анализировать их с помощью визуализации статистики. Это позволит выявлять регионы с повышенной аварийностью, отслеживать статус происшествий и формировать аналитические отчеты для более эффективного управления дорожной безопасностью. На рисунке 1 представлена структура системы учета дорожно-транспортных происшествий.

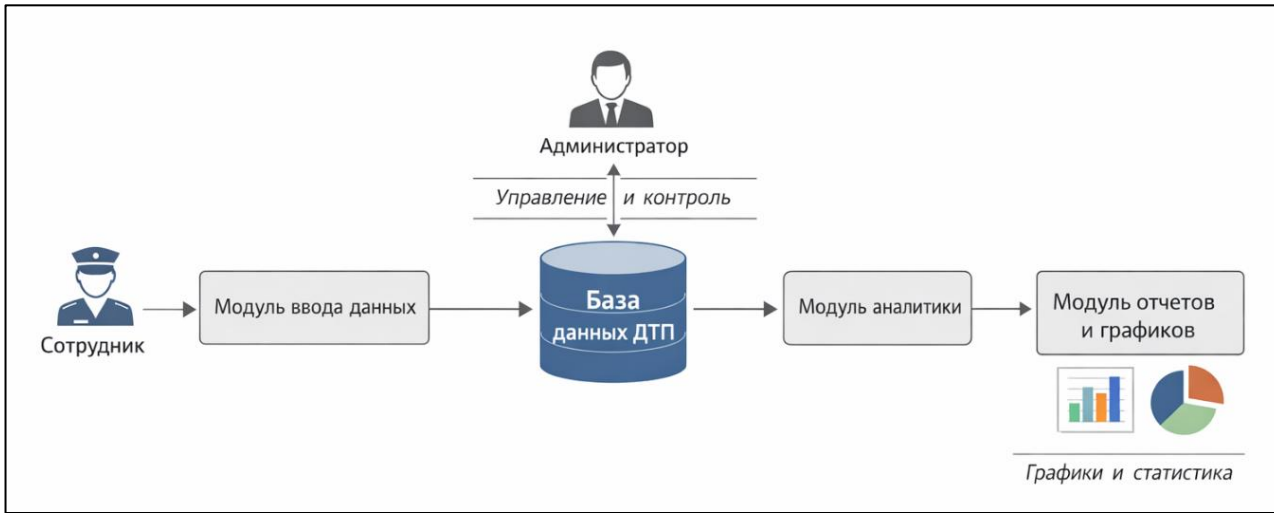


Рисунок 1 – Структура системы учета дорожно-транспортных происшествий

Для эффективного анализа дорожно-транспортных происшествий важно не только фиксировать сами события, но и систематизировать информацию для дальнейшей обработки и анализа. В систему учета ДТП включаются основные параметры происшествия, которые позволяют формировать статистику и выявлять закономерности аварийности.

Определение и анализ дорожно-транспортных происшествий основывается на сборе и обработке различных данных, характеризующих каждое событие.

Для регистрации ДТП в системе используются следующие параметры: наименование происшествия, дата и время, регион и точный адрес, количество участников, категория происшествия, а также дополнительные материалы, например фотографии. Также автоматически фиксируется сотрудник, который внес информацию, и текущий статус происшествия (в работе или закрыто).

Каждая запись о ДТП сохраняется в базе данных и имеет собственную страницу с подробной информацией. На данной странице сотрудники могут добавлять заметки и комментарии, при этом система автоматически сохраняет имя пользователя, дату и время добавления записи. Это позволяет отслеживать процесс обработки происшествия и хранить всю связанную информацию в одном месте.

На основе накопленных данных система формирует аналитическую информацию и визуализацию статистики [3]. Например, могут отображаться диаграммы распределения ДТП по регионам, статистика по статусам происшествий, а также рейтинг сотрудников, которые внесли наибольшее количество записей. Это позволяет анализировать дорожную ситуацию и выявлять регионы с повышенной аварийностью.

Разрабатываемое веб-приложение предоставляет удобный интерфейс для работы с системой. Пользователи могут добавлять новые записи о ДТП, редактировать существующие данные и просматривать статистическую информацию. Использование такой системы позволяет централизовать учет дорожно-транспортных происшествий и повысить эффективность анализа дорожной обстановки. На рисунке 2 представлено рабочее окно веб-приложения учета дорожно-транспортных происшествий.

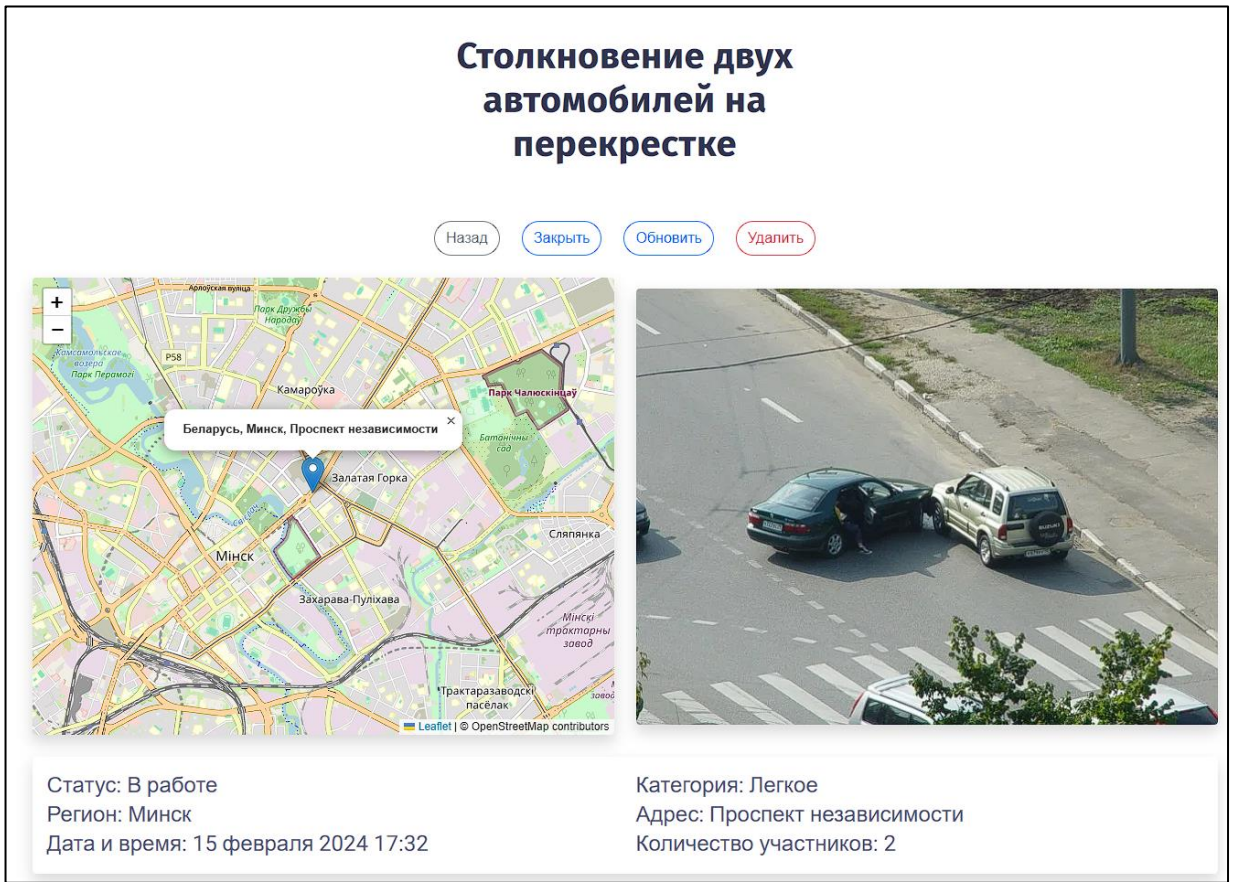


Рисунок 2 – Рабочее окно приложения

На рисунке 3 представлена визуализация статистических данных дорожно-транспортных происшествий по регионам в виде столбчатой и круговой диаграмм. Данные графики позволяют наглядно определить регионы с наибольшим количеством зарегистрированных ДТП.

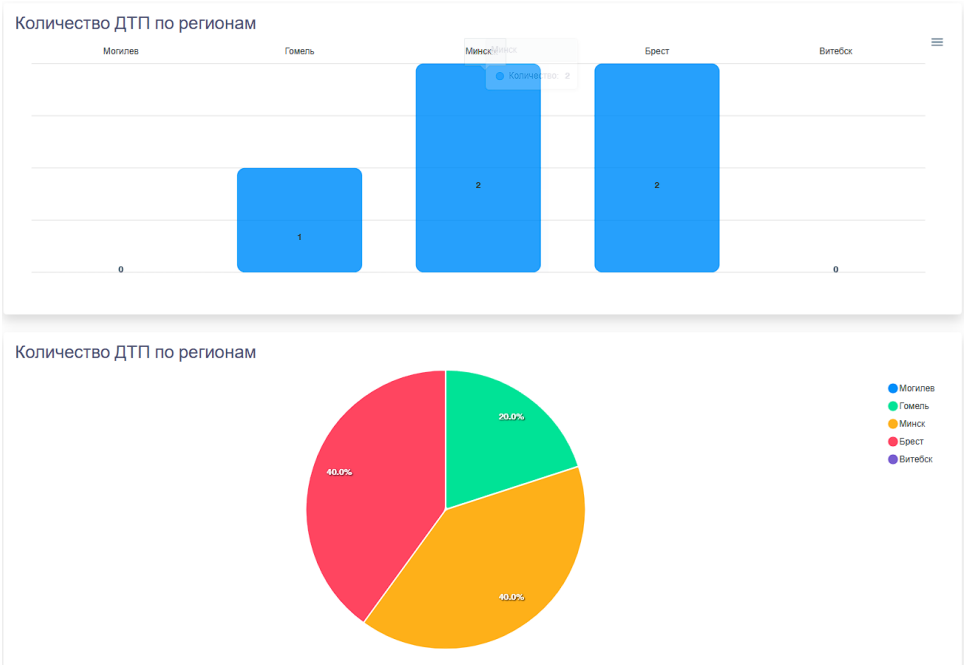


Рисунок 3 – Визуализация статистики дорожно-транспортных происшествий по регионам

Разработанное веб-приложение может быть использовано для централизованного учета и

анализа дорожно-транспортных происшествий. Система позволяет хранить информацию о ДТП, отслеживать статус происшествий и анализировать статистические данные. Это обеспечивает более эффективный контроль дорожной обстановки и упрощает работу сотрудников, отвечающих за регистрацию и обработку информации. Использование приложения позволяет систематизировать данные о дорожно-транспортных происшествиях, включая дату и время, регион, адрес, количество участников и категорию происшествия. На основе накопленных данных формируются аналитические отчеты и графики, которые помогают выявлять регионы с повышенной аварийностью и анализировать текущую ситуацию на дорогах.

Разработанная система повышает эффективность учета дорожно-транспортных происшествий, улучшает анализ статистических данных и обеспечивает удобный доступ к информации для дальнейшего принятия решений в области дорожной безопасности.

Заключение. Спроектировано и разработано веб-приложение для учета и анализа дорожно-транспортных происшествий. Приложение создано с использованием современных технологий, таких как Java Spring для серверной части, что обеспечивает стабильную работу системы и удобство использования. Разработанная система позволяет регистрировать информацию о ДТП, включая дату и время происшествия, регион, адрес, количество участников и категорию ДТП. Все данные сохраняются в единой базе данных и могут использоваться для дальнейшего анализа и обработки.

На основе собранной информации приложение формирует статистические данные и визуализацию в виде графиков и диаграмм, что позволяет наглядно анализировать дорожную ситуацию и выявлять регионы с повышенной аварийностью. Разработанное веб-приложение может использоваться сотрудниками для регистрации, хранения и анализа информации о дорожно-транспортных происшествиях.

Список литературы

1. *Закон Республики Беларусь «О дорожном движении» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://pravo.by/document – Дата доступа: 15.03.2026.*

2. *Государственная автомобильная инспекция Республики Беларусь. Официальный сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://gai.mvd.gov.by – Дата доступа: 03.03.2026.*

3. *Статистика дорожно-транспортных происшествий в Республике Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://mvd.gov.by – Дата доступа: 15.03.2026.*

UDK 004:656.13.08

WEB APPLICATION FOR RECORDING AND ANALYZING ROAD TRAFFIC ACCIDENTS

Chirich E.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Vorobey A.V. – master of technical sciences, assistant of the department of EPE

Annotation. The research aims to develop a web application for recording, storing, and analyzing road accident data. The study examines methods for collecting and systematizing accident information, including location, time, participants, collision type, weather conditions, and damage. The application will provide a user-friendly interface for data entry and processing, statistical visualization, and reporting. The research results can be used by road safety authorities, insurance companies, and analytics services to improve road safety and reduce accidents.

Keywords: Road traffic accidents, web application, information system, database, data analysis, accident statistics, road safety, data visualization, incident recording.

УДК 004.056.5

ПРОГРАММНЫЙ ПРОДУКТ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЦИФРОВИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕСЫЛКИ ПОЧТОВЫХ ОТПРАВЛЕНИЙ И ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

Гоков Е.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Хлудеев И.И. – к.б.н., доцент, доцент кафедры ИПиЭ

Аннотация. Разработан программный продукт, предназначенный для цифровизации процессов пересылки почтовых отправлений и обеспечения защиты персональных данных пользователей. Решение реализовано на платформе C#/.NET и включает клиентские приложения, серверный API-уровень и инструменты для операторов. Для защиты данных реализованы аутентификация и авторизация на основе ролей, возможность двухфакторной авторизации, шифрование данных при передаче, журналирование действий и контроль сроков хранения персональной информации.

Ключевые слова: цифровизация почтовых процессов, почтовые отправления, персональные данные, защита персональных данных, многофакторная аутентификация, C#, .NET, клиент-серверная архитектура, аудит действий, шифрование данных

Введение. Современные почтовые сервисы требуют высокой скорости обработки отправлений, точности учета и надежной защиты данных пользователей. Традиционные бумажные и частично автоматизированные процессы ограничивают масштабируемость, усложняют контроль операций и повышают риск утечек персональной информации.

Актуальность проекта обусловлена необходимостью построения единой цифровой среды, в которой все этапы жизненного цикла отправления выполняются в электронном виде и сопровождаются средствами мониторинга, аудита и безопасности.

Основная часть. Целью проекта является разработка программного продукта, обеспечивающего цифровизацию процессов пересылки почтовых отправлений при соблюдении требований к защите персональных данных. Для достижения цели решались следующие задачи: анализ предметной области; проектирование архитектуры системы; реализация модулей обработки отправлений; внедрение механизмов информационной безопасности; тестирование и оценка эффективности.

При разработке использовались язык программирования C#, платформа .NET, ASP .NET и .NET MAUI. Архитектурно решение построено по клиент-серверной модели и включает в себя настольный клиент для сотрудников отделений, серверный компонент (Web API) для централизованной бизнес-логики и хранения данных и специализированный терминальный контур для операций сканирования и подтверждения этапов обработки [1].

Ключевым элементом проекта является подсистема защиты персональных данных. В ней реализованы:

1 Аутентификация пользователей и разграничение прав доступа по ролям.

2 Возможность подключения двухфакторной аутентификации для аккаунтов.

3 Защищённый обмен данными по криптографически стойкому каналу передачи.

4 Аудит критичных действий (вход, изменение статусов, операции с персональными данными) [2].

5 Минимизация обрабатываемых персональных данных и ограничение сроков их хранения [3].

6 Механизмы контролируемого удаления/обезличивания данных по установленным правилам.

Двухфакторная аутентификация реализована посредством ввода шестизначного кода из приложения аутентификатора. Приложение пользователь может выбрать по своему усмотрению, но оно должно поддерживать алгоритм RFC 6238 [4]. Создается уникальный случайный ключ размером 20 байт. Для хеширования используется алгоритм SHA-1, который

обеспечивает надежное хеширование уникального меняющегося со временем кода аутентификации пользователя [5]. Пример входа с двухфакторной аутентификацией представлен на рисунке 1.

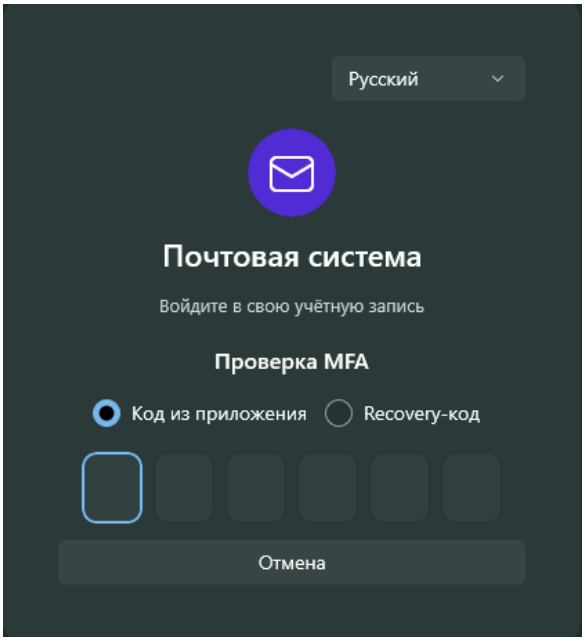


Рисунок 1 – Окно двухфакторной аутентификации.

Важным аспектом также является отказоустойчивость программного продукта, особенно при выполнении операций, связанных с изменением, создание и удалением данных. Для этого в системе предусмотрены повторные попытки выполнения критичных запросов, проверка корректности переходов статусов, а также валидация входных данных на уровне клиентского и серверного контуров. Повторные попытки выполнения запросов реализованы в виде очереди запросов, которой управляет пользователь и может как отправить запрос повторно, так и отказаться от этого и удалить его. Графический интерфейс очереди представлен на рисунке 2.

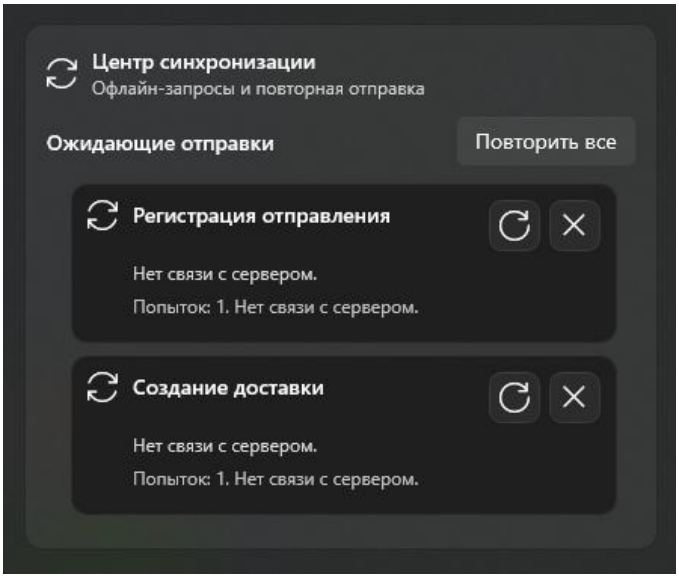


Рисунок 2 – Меню очереди запросов.

Проверка качества программного продукта выполнена с использованием модульного и интеграционного тестирования. Разработаны модульные тесты для каждого элемента

архитектуры, которые покрывают все основные сценарии работы, а также нестандартные ситуации. Тесты подтвердили корректность основных бизнес-сценариев, в том числе обработки ошибок, авторизации, маршрутизации запросов и выполнения операций с ограниченным доступом. Разработка тестов позволяет обеспечить ускорить развитие и внедрение нового функционала, создавая совместимость новых функций со старыми. Таким образом разработка тестов позволяет улучшить и упростить масштабирование программного продукта и обеспечить его качество и корректность работы всего функционала, а также обеспечить безопасность данных.

Заключение. Разработан программный продукт, обеспечивающий комплексную цифровизацию процессов пересылки почтовых отправлений и обеспечивающий высокий уровень защищённости персональных данных пользователей. Реализованные архитектурные и технологические решения позволяют масштабировать систему, развивать интеграции с внешними сервисами и расширять аналитические функции сохраняя качество и безопасность программного продукта. Система защиты данных пользователей позволяет безопасно хранить и передавать чувствительные данные, обеспечивая их шифрование, обезличивание и маскировку внутри системы. Практическая значимость работы заключается в возможности применения разработанного подхода в почтовых и логистических организациях для повышения эффективности операций, прозрачности контроля и соответствия требованиям информационной безопасности.

Список литературы

1. *Почему выбирают .NET? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://dotnet.microsoft.com/ru-ru/platform/why-choose-dotnet. – Дата доступа: 22.02.2026.*

2. *ASP.NET Core documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://learn.microsoft.com/aspnet/core. – Дата доступа: 22.02.2026.*

3. *Overview of security in ASP.NET Core [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://learn.microsoft.com/aspnet/core/security. – Дата доступа: 22.02.2026.*

4. *Authentication and authorization in ASP.NET Core [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://learn.microsoft.com/aspnet/core/security/authentication. – Дата доступа: 23.02.2026.*

5. *SO/IEC 27001 Information security management [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.iso.org/isoiec-27001-information-security.html. – Дата доступа: 23.02.2026.*

UDC 004.056.5

SOFTWARE PRODUCT FOR DIGITALIZATION OF POSTAL SHIPMENT PROCESSES AND PROTECTION OF USERS' PERSONAL DATA.

Hokau Y.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Khludeev I. I. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of EPE

Annotation. A software product has been developed to digitalize postal shipment processes and ensure the protection of users' personal data. The solution is implemented on the C#/.NET platform and includes client applications, a server-side API layer, and tools for operators. To protect data, the system implements role-based authentication and authorization, support for two-factor authentication, encryption of data in transit, action logging, and control over personal data retention periods.

Keywords: postal process digitalization, postal shipments, personal data, personal data protection, multi-factor authentication, C#, .NET, client-server architecture, audit logging, data encryption.

УДК 616-072.8:37.091.212.5

ОБРАЗ ЖИЗНИ КАК ФАКТОР ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО БЛАГОПОЛУЧИЯ И УЧЕБНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТУДЕНТОВ

Горбель А. А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Рышкель О.С. – к. с.-х. н., доцент, доцент кафедры ИПиЭ

Аннотация. Проведено эмпирическое исследование взаимосвязей между компонентами образа жизни студентов и показателями их психоэмоционального состояния и работоспособности. Проведено анкетирование. Установлены закономерности: на сколько нездоровые привычки выступают мощными усилителями стресса и как успеваемость связана с эмоциональным благополучием.

Ключевые слова: образ жизни студентов, сон, питание, стресс, эмоциональное выгорание, работоспособность, прокрастинация, анкетирование, психоэмоциональное состояние, здоровье студентов

Введение. Образ жизни студента, формируемый под влиянием высоких учебных нагрузок и ограниченных ресурсов, представляет собой комплекс взаимосвязанных компонентов: режим сна, рацион питания, физическая активность и цифровые привычки. Установлено, что эти компоненты оказывают значимое влияние на когнитивные функции и эмоциональное состояние: дефицит сна нарушает память и концентрацию, нерегулярное питание ведёт к резким колебаниям уровня глюкозы и энергии, а злоупотребление кофеином провоцирует тревожность. Наряду с этим, студенческий стресс и эмоциональное выгорание являются ключевыми психологическими детерминантами успешности [1].

Основной задачей данного исследования является эмпирическая проверка и количественная оценка силы корреляций между этими компонентами образа жизни студентов и уровнем их психоэмоционального состояния и учебной эффективности.

Основная часть. В данном исследовании использовался метод анкетирования с целью сбора объективных данных о поведении, привычках и самочувствии студентов. Была разработана оригинальная анкета, содержащая 36 вопросов, охватывающих все ключевые аспекты темы: характеристики сна, пищевое поведение, потребление стимулирующих напитков, уровень физической активности, учебная успеваемость и психоэмоциональное состояние.

Процесс сбора данных был проведен через онлайн-форму, что позволило получить ответы от широкого круга студентов. Всего в тестировании приняло участие 125 студентов. Из них 62 % составляли парни и 38% – девушки. Средний возраст участников составил 18 лет, с минимальным возрастом 17 лет и максимальным 20 лет. В исследовании участвовали студенты всех курсов.

Анализ полученных данных выявил статистически значимые взаимосвязи между поведенческими характеристиками и психоэмоциональными показателями.

Регулярное употребление кофе и энергетических напитков сопровождается более высокой частотой нарушений концентрации внимания. Среди студентов, систематически потребляющих кофеин, 40 % отмечают проблемы с концентрацией, тогда как среди студентов с редким потреблением этот показатель составляет 23 %. Таким образом, частота когнитивных затруднений увеличивается в 1,7 раза. Это может объясняться как прямым воздействием переизбытка кофеина, так и опосредованным влиянием через другие факторы. Формируется круговорот: вызванная недосыпом усталость побуждает к употреблению стимуляторов, которые, в свою очередь, дополнительно ухудшают качество сна, что в конечном итоге подрывает и когнитивную работоспособность, и общее самочувствие.

Исследование продолжительности сна показало, что среди студентов с его недостатком высокий уровень стресса фиксируется у 85 % девушек и 50 % юношей. При нормальной

продолжительности сна данный показатель снижается, однако остаётся значительным – 56 %. Это свидетельствует о том, что дефицит сна выступает существенным усилителем стрессовой нагрузки.

Частое употребление фастфуда связано с более выраженными проявлениями стрессового реагирования: склонность к «заеданию» стресса у таких студентов встречается в 2,3 раза чаще, что указывает на использование такой пищи, как неэффективной стратегии совладания стресса. При этом большинство студентов, регулярно употребляющих фастфуд, также систематически потребляют кофеиносодержащие напитки, что указывает на формирование комплексного поведенческого паттерна. В этом паттерне стимуляторы используются для борьбы с усталостью, а «комфортная» еда – для снятия стресса, что усугубляет исходное психоэмоциональное напряжение и снижает работоспособность.

Анализ студенческой успеваемости выявил парадоксальную закономерность: среди студентов с успеваемостью выше среднего признаки эмоционального выгорания отмечают 53 %, тогда как среди студентов с успеваемостью ниже среднего – 41 %. Среди девушек данный показатель достигает 60 %. Разница составляет около 30 %, что позволяет говорить о феномене «цены успеха».

Прокрастинация не исключает достижения высоких результатов, так как 82 % студентов, часто откладывающих выполнение учебных заданий, демонстрируют успеваемость выше среднего уровня. Однако максимальная результативность до 91 % наблюдается у студентов с высокой учебной дисциплиной, редко прибегающих к откладыванию задач.

Предыдущие закономерности являются основными, однако существуют и другие зависимости, характеризующиеся более низкой степенью корреляции. Дополнительные взаимосвязи представлены на рисунке 1, где показана корреляционная матрица, отражающая степень взаимосвязи между исследуемыми показателями [2].

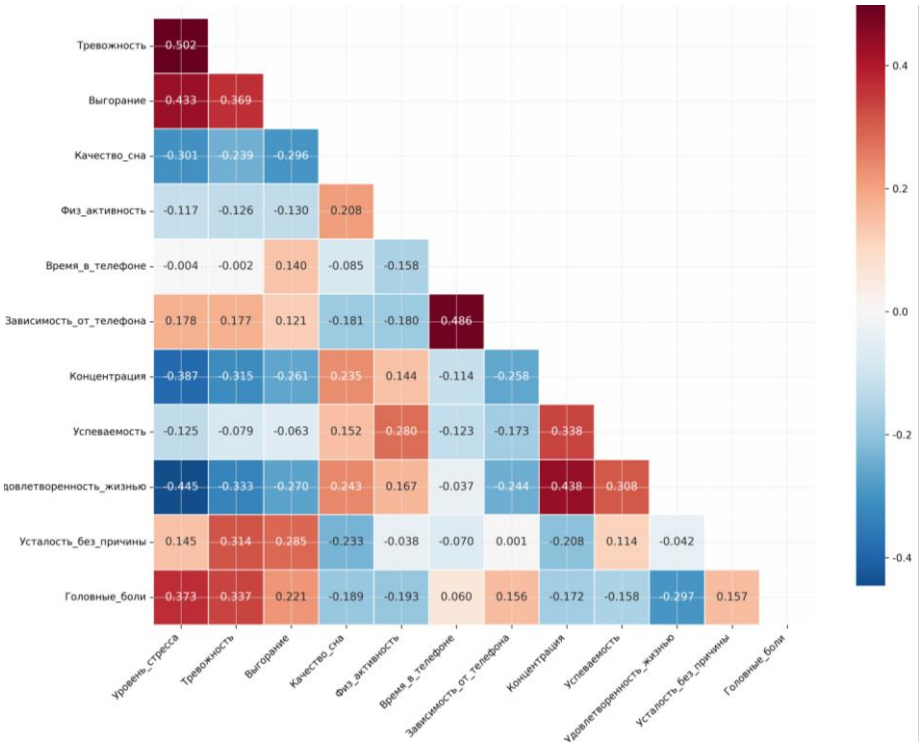


Рисунок 1 – Корреляционная матрица взаимосвязей между показателями

Данная матрица демонстрирует статистически значимые корреляции: сильная положительная связь между стрессом и тревожностью (r=0,502), стрессом и выгоранием (r=0,433), а также более слабые связи или отрицательные связи, например, между стрессом и удовлетворенностью жизнью (r=-0,445). Это позволяет понять комплексные взаимосвязи между факторами образа жизни и благополучием.

Использование корреляционной матрицы в данном контексте имеет принципиальное

значение, так как оно позволяет выйти за рамки анализа изолированных привычек и увидеть студенческий образ жизни как единую экосистему. Матрица визуализирует, как незначительные на первый взгляд факторы – например, время, проведенное в смартфоне, или качество сна – вступают в синергию с учебной нагрузкой, создавая кумулятивный эффект. Это дает возможность не просто зафиксировать факт наличия стресса, а обнаружить его скрытые причины, что необходимо для разработки точечных мер психологической поддержки и оптимизации образовательного процесса.

Заключение. В результате исследования подтверждена гипотеза о взаимосвязи образа жизни студентов с их психоэмоциональным состоянием и работоспособностью. Ключевой вывод заключается в том, что нездоровые привычки складываются в устойчивую негативную систему, выступающую не столько причиной, сколько мощным усилителем стресса, вызывая истощения.

Умственная работоспособность, психологическая устойчивость и способность к обучению – это не абстрактные заданные величины, а динамические состояния, напрямую зависящие от физиологического и эмоционального фундамента, который студент выстраивает своими повседневными выборами. Проведённое исследование наглядно показало, насколько распространены в студенческой среде выборы, которые последовательно ослабляют этот фундамент, приводя к взаимосвязанному ухудшению физического самочувствия и психоэмоционального состояния.

Наиболее эффективным способом улучшения ситуации является системный подход, направленный на управление учебной нагрузкой, развитие навыков саморегуляции и профилактику эмоционального выгорания, что способно одновременно повысить как студенческие результаты, так и психологическое благополучие студентов.

Список литературы

1. *Портал здоровья студентов: информация о рисках и профилактике [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studenthealth.edu.ru/. – Дата доступа: 09.12.2025.*

2. *Кузьмин, С. А. Методы статистического анализа в психологических исследованиях / С. А. Кузьмин. – СПб.: БХВ-Петербург, 2023. – 272 с.*

UDC 616-072.8:37.091.212.5

LIFESTYLE AS A FACTOR OF PSYCHOPHYSIOLOGICAL WELL-BEING AND ACADEMIC EFFECTIVENESS OF STUDENTS

Horbel A. A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Scientific supervisor: Ryshkel O.S. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the Department of ICSD

Annotation. An empirical study of the interrelationships between the components of students' lifestyle and indicators of their psycho-emotional state and working capacity has been conducted. A survey was conducted on 36 questions. Patterns have been established: how much unhealthy habits act as powerful stress enhancers and how academic performance is related to emotional well-being. Significant gender differences in response to stressful factors have been identified.

Keywords: students lifestyle, sleep, nutrition, stress, emotional burnout, performance, procrastination, questionnaires, psycho-emotional state, students' health.

УДК 504.054

ОЦЕНКА ТРАНСПОРТНОЙ НАГРУЗКИ КАК ИСТОЧНИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА НА ПРИМЕРЕ КЛЮЧЕВОЙ МАГИСТРАЛИ Г. МИНСКА

Ишеков А.М.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Камлач В.И. – ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. В статье рассматривается оценка транспортной нагрузки как источника загрязнения атмосферного воздуха на примере ключевой магистрали г. Минска – проспекта Независимости. Особое внимание уделяется измерению интенсивности движения автотранспорта в разные часы пик, время суток и классификации транспорта по типам. Предложены практические рекомендации по снижению транспортной нагрузки.

Ключевые слова: автотранспорт, загрязнение атмосферного воздуха, транспортная нагрузка, выбросы вредных веществ, интенсивность движения, экологические меры.

Введение. Автомобильный транспорт является одним из основных источников загрязнения атмосферного воздуха в крупных городах, создавая значительную экологическую нагрузку на окружающую среду. Актуальность исследования обусловлена необходимостью точной оценки транспортных выбросов в разные временные периоды для разработки эффективных мер по улучшению экологической ситуации. Целью работы является количественная оценка вредных веществ, поступающих в атмосферу от автотранспорта в утренний и вечерний часы пик, а также в дневное время. Для достижения цели проведены замеры интенсивности движения по категориям транспорта и выполнен расчет выбросов вредных веществ. Подсчёт интенсивности движения проводился на участке проспекта Независимости между станциями метро «Площадь Якуба Коласа» и «Академия наук».

Основная часть. Измерение интенсивности транспортного потока проводилось методом визуального подсчета в специально отобранных точках наблюдения. Для повышения точности измерений применялась следующая методика: в каждом временном периоде (утренний час пик 7:30-8:30, дневное время 12:00-13:00, вечерний час пик 17:30-18:30) осуществлялась видеофиксация транспортного потока продолжительностью 20 минут с использованием цифровой камеры. Запись производилась с позиции, обеспечивающей визуальный контроль над всеми полосами движения.

Последующая обработка видеоматериалов состояла в подсчёте транспортных средств с классификацией по типам: легковые автомобили, грузовые автомобили, автобусы. Полученные за 20 минут данные умножались на коэффициент 3 для пересчета на часовую интенсивность движения.

В ходе исследования для определения типа двигателя (бензиновый/дизельный) применялся статистический метод, основанный на данных автопарка Республики Беларусь. Согласно статистике, распределение транспортных средств по типу двигателя составляет 76% для бензиновых и 24% для дизельных двигателей [1].

Все автобусы были классифицированы как транспортные средства с дизельными двигателями, так как они являются стандартом для городских автобусов. На сегодняшний день в Минске немногим более 55,3 процента составляют классические автобусы на дизельном топливе, 33,2 процента – троллейбусы, 5,2 процента – электробусы и 6,3 процента – трамваи [2].

На основе замеренной интенсивности движения за час определялся общий путь, пройденный каждым типом транспорта на участке магистрали. Затем рассчитывалось количество сожжённого топлива с использованием удельных норм расхода, после чего с учётом статистического распределения двигателей определялось количество сожжённого бензина и дизельного топлива. С применением эмпирических коэффициентов вычислялись объёмы выбросов пяти вредных веществ, после чего определялся объём чистого воздуха,

необходимый для разбавления выбросов до предельно допустимых концентраций.

Проведенные исследования показали выраженную суточную динамику транспортной нагрузки. Максимальная интенсивность движения наблюдается в вечерний час пик (5895 транспортных единиц в час), что на 29% превышает утренний период (4552 единицы) и на 65% – дневное время (3562 единицы).

Расчеты позволили оценить выбросы основных загрязняющих веществ: монооксида углерода (CO), углеводородов (C_5H_{12}), диоксида азота (NO_2), сернистого ангидрида (SO_2) и сажи. При этом использовались эмпирические коэффициенты, учитывающие различия в типах двигателей (бензиновые и дизельные) и их удельных выбросах.

Анализ вклада различных типов транспорта в общие выбросы выявил ряд важных закономерностей. Легковые автомобили, составляя подавляющее большинство транспортного потока (95-97%), являются основным источником монооксида углерода и углеводородов, внося 85-90% в общий объем этих выбросов. Это связано с их массовостью и преобладанием бензиновых двигателей, характеризующихся высоким уровнем выбросов данных веществ. Однако наиболее критичным с экологической точки зрения является вклад дизельного транспорта. Несмотря на незначительную численность, дизельные автомобили и автобусы ответственны за 98% выбросов сажи и 87% выбросов SO_2.

Особую опасность представляют выбросы NO_2, для разбавления которых требуется наибольший объем чистого воздуха. В вечерний час пик для разбавления NO_2 необходимо 715 647 м³ воздуха, а концентрация диоксида азота превышает предельно допустимую концентрацию в несколько раз.

Вечерние пробки характеризуются частыми остановками и ускорениями, работой двигателей на холостом ходу, что приводит к увеличению удельных выбросов на единицу пути [3]. Кроме того, в вечерние часы наблюдается повышенная доля грузового транспорта, что дополнительно усугубляет экологическую ситуацию. Основные загрязняющие вещества автотранспорта наносят серьёзный вред здоровью человека: монооксид углерода вызывает кислородное голодание тканей, углеводороды провоцируют аллергии и токсическое воздействие, диоксид азота раздражает дыхательные пути и способствует хроническим болезням, сернистый ангидрид вызывает воспаления и сердечно-сосудистые проблемы, а сажа глубоко проникает в лёгкие, провоцируя воспаления и рак [4].

На основе проведенных исследований предлагается комплекс мер по снижению негативного воздействия автотранспорта на окружающую среду. Эти меры должны быть направлены как на техническое перевооружение транспортного парка, так и на организационные и градостроительные решения.

Данные расчётов показывают, что наибольший вклад в загрязнение вносят легковые автомобили в часы пик. Для снижения их доли необходимо развитие общественного транспорта и создание инфраструктуры для альтернативных видов передвижения. В частности, предлагается:

– увеличение числа специально выделенных полос для общественного транспорта, что повысит его скорость и привлекательность для пассажиров;

– развитие сети велосипедных дорожек и пешеходных зон в центральной части города;

– внедрение системы park-and-ride («парковка-пересадка») на въездах в город, позволяющей водителям оставлять личный автотранспорт на периферии и продолжать движение на общественном транспорте.

Второй блок мер направлен на техническое улучшение экологических характеристик транспортных средств. Конкретные предложения включают:

– постепенный перевод городского коммунального и общественного транспорта на электрическую тягу или альтернативные виды топлива;

– обязательное оснащение всех дизельных автомобилей системами снижения выбросов NO_2 (селективного каталитического восстановления) и сажевыми фильтрами.

Третий блок мер связан с градостроительным планированием и озеленением придорожных территорий. Результаты расчётов показывают необходимость создания буферных зон между автотрассами и жилыми массивами. В этой связи целесообразно:

– формирование зелёных насаждений вдоль магистралей, включающих древесный, кустарниковый и травяной ярусы;

– использование специальных видов растений с высокой способностью к поглощению вредных веществ (вяз, тополь, липа, клён, туя);

– создание системы «зелёных коридоров», соединяющих природные зоны города и обеспечивающих циркуляцию чистого воздуха.

Реализация предложенного комплекса мер позволит существенно снизить экологическую нагрузку от автотранспорта в ближайшие годы. При этом наибольший эффект даст сочетание технических решений с градостроительными мерами и организационными мероприятиями.

Заключение. Выявленная суточная динамика загрязнения, связанная с режимом функционирования города, позволяет определить критические периоды и разработать меры по снижению негативного воздействия автотранспорта на атмосферный воздух в городе.

Особую значимость имеет выявление неравномерного вклада различных типов транспорта в общее загрязнение. Это позволяет сконцентрировать усилия на наиболее проблемных направлениях, таких как оптимизация структуры транспортного потока.

Реализация предложенного комплекса мер требует координации усилий различных ведомств – транспортных, экологических, градостроительных и социальных служб, а также активного вовлечения населения в процесс принятия решений. Только комплексный подход, объединяющий расчётные оценки загрязнения, технические решения, градостроительные меры и социальные инициативы, позволит существенно улучшить экологическую ситуацию и создать более комфортную городскую среду для жизни и работы людей.

Список литературы

1. *Безопасность жизнедеятельности человека. В 3 ч. Ч. 1 : Основы экологии и энергосбережения : учеб.-метод. пособие / И. А. Телеш [и др.]. – Минск : БГУИР, 2017. – 94 с. : ил.*

2. *К 2030 году в Беларуси количество электрокаров может достичь 300 тысяч [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.sb.by/articles/elektrotransport-ta-tochka-rosta-kotoraya-sposobna-prinyat-neobkhodimoe-uvelichenie-potrebleniya-ele.html. Дата доступа: 25.11.2025*

3. *Загрязнение атмосферного воздуха выхлопами газа автомобильного транспорта [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ecoportal.su/public/zagryazn/view/1981.html. Дата доступа: 25.11.2025*

4. *Вред выхлопных газов: влияние на здоровье человека [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://бризекс.рф/blog/vred-vyhlopnyh-gazov-vliyanie-na-zdorove-cheloveka. Дата доступа: 25.11.2025*

UDC 504.054

ASSESSMENT OF TRANSPORT LOADS AS A SOURCE OF AIR POLLUTION ON THE EXAMPLE OF A KEY HIGHWAY IN MINSK

Ishekov A.M.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Kamlach V.I. – Senior lecturer, Department of Engineering Psychology and Ergonomics

Annotation. The article considers the assessment of transport load as a source of atmospheric air pollution on the example of the key thoroughfare of Minsk - Independence Avenue. Special attention is given to the measurement of traffic intensity at different peak hours and times of day, as well as the classification of transport types (cars, trucks, petrol and diesel buses) in order to accurately estimate their contribution to total emissions. Practical recommendations to reduce the transport load are proposed.

Keywords: road transport, air pollution, transport load, emissions of harmful substances, traffic intensity, environmental measures

УДК 37.09:378.4

ВЛИЯНИЕ КОРОТКИХ РЕГУЛЯРНЫХ ПЕРЕРЫВОВ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ IT-СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

Касперец Е. А., Бельский М. Д.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Карпович Е.Б. – магистр техники и технологии, ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. В статье исследуется влияние коротких регулярных перерывов на продуктивность работы студентов IT-специальностей. Актуальность работы обусловлена высокой когнитивной нагрузкой при программировании, ведущей к быстрой утомляемости. В ходе исследования был проведен сравнительный анализ эффективности непрерывной работы и работы по методу Flowtime среди студентов БГУИР.

Ключевые слова: микро-перерывы, концентрация внимания, программирование, продуктивность, когнитивная нагрузка, метод Flowtime.

Введение. Профессиональное обучение IT-специалистов характеризуется высокой интеллектуальной нагрузкой, связанной с длительными сессиями программирования и активным задействованием аналитического мышления. Практика непрерывной работы в течение 90 минут и более без регламентированных пауз приводит к снижению концентрации внимания, росту когнитивной нагрузки и, как следствие, ухудшению качества учебной деятельности. Несмотря на наличие различных техник управления рабочим временем, вопрос их влияния на продуктивность работы студентов IT-направлений остается недостаточно структурированным.

Целью данной работы является проверка гипотезы о том, что студенты, практикующие регулярные короткие перерывы, демонстрируют более высокую продуктивность в учебной деятельности по сравнению с теми, кто работает без перерывов.

Основная часть. Проблема утомляемости и снижения концентрации при длительной интеллектуальной деятельности активно исследуется в когнитивной психологии и педагогике. Эффективность практики микро-перерывов не более 5-10 минут обусловлена быстрым восстановлением ресурсов сознания. Важным фактором является и то, что при работе до состояния выраженного утомления качество деятельности значительно снижается. Соответственно, наибольшая польза достигается при регулярных, а не спонтанных перерывах [1]. Структурированные режимы коротких перерывов предполагают заранее заданную периодичность и продолжительность пауз, что позволяет предотвращать развитие выраженного когнитивного истощения. Одной из наиболее известных и широко применяемых методик данного типа является метод Pomodoro, основанный на чередовании 25-минутных периодов сосредоточенной работы и 5-минутных перерывов. После завершения четырех рабочих циклов предусматривается более длительный перерыв продолжительностью 15–30 минут [2].

Альтернативным подходом является метод Flowtime, предполагающий адаптивную длительность рабочих интервалов, определяемую индивидуальным состоянием концентрации. В рамках данного метода продолжительность работы не фиксируется заранее, а перерыв осуществляется после появления субъективных признаков снижения внимания. При этом длительность перерыва прямо пропорциональна времени работы: чем дольше человек работает, тем длиннее его отдых. В отличие от метода Pomodoro, Flowtime позволяет работать больше 25 минут, однако и перерыв будет длиться дольше. Несмотря на большую гибкость, Flowtime может в меньшей степени предотвращать накопление утомления, поскольку пауза часто инициируется уже на стадии выраженного когнитивного истощения [2].

В качестве исследуемого метода режима работы студентов выбран Flowtime, поскольку большинство студентов работают в свободном графике, но время перерывов коррелирует со

временем продолжительности работы. Для сбора данных был разработан опросник. Всего в опросе приняло участие 78 человек. Анкетирование студентов IT-направлений было направлено на выявление частоты коротких перерывов, продолжительности программирования, уровня академической успеваемости и сна. Согласно результатам опроса, около 50% студентов регулярно используют структурированные режимы работы с короткими перерывами. Таким образом, были сформированы две равные по численности группы респондентов: в первую группу вошли студенты, делающие перерывы не реже одного раза в час, во вторую – студенты, практикующие перерывы реже чем один раз в два часа.

Для количественной обработки результатов анкетирования использовалась система ранговой градации показателей. Продолжительность программирования в неделю была преобразована в балльную шкалу: менее 5 часов – 1 балл; от 5 до 10 часов – 2 балла; от 10 до 20 часов – 3 балла; более 20 часов – 4 балла. Аналогичным образом была ранжирована академическая успеваемость: средний балл 7 и ниже – 1 балл; от 7 до 8 – 2 балла; от 8 до 9 – 3 балла; от 9 до 10 – 4 балла. Применение единой шкалы позволило привести разнородные показатели к сопоставимому количественному формату и обеспечить корректность дальнейшего сравнительного анализа.

Анализ результатов анкетирования двух групп испытуемых выявил, что при одинаковой успеваемости в обеих группах испытуемых (109 баллов), студенты, делающие перерывы не реже одного раза в час, тратят меньше времени на выполнение работы по сравнению со студентами из второй группы (66 и 74 балла соответственно). Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что короткие перерывы на 5% повышают продуктивность работы, за счет поддержания высокого уровня концентрации и эффективного восстановления ресурсов сознания.

Заключение. Проведен сравнительный анализ эффективности непрерывной деятельности и работы по методу Flowtime. Было установлено, что микро-перерывы эффективнее справляются с задачей восстановления когнитивных ресурсов, они также положительно влияют на уровень концентрации и позволяют работать эффективнее, особенно при высокой когнитивной нагрузке, характерной для программирования.

Список литературы

1. *»Give me a break!» A systematic review and meta-analysis on the efficacy of micro-breaks for increasing well-being and performance. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0272460. Дата доступа: 04.02.2026.*

2. *Investigating the Effectiveness of Self-Regulated, Pomodoro, and Flowtime Break-Taking Techniques Among Students. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.mdpi.com/2076-328X/15/7/861. Дата доступа: 07.02.2026*

UDC 37.09:378.4

THE EFFECT OF SHORT REGULAR BREAKS ON THE PRODUCTIVITY OF IT STUDENTS

Kaspiarets Y.A., Belskiy M.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Karpovich E.B. – Master of engineering and technology, Senior Lecturer at the Department of EPaE

Annotation. The article explores the impact of short regular breaks on the productivity of IT students. The relevance of the work is due to the high cognitive load in programming, which leads to rapid fatigue. The study conducted a comparative analysis of the effectiveness of continuous work and work using the Flowtime method among BSUIR students.

Keywords: micro-breaks, concentration, programming, productivity, cognitive load, and the Flowtime method.

УДК 004.415.2

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ЗНАНИЙ СОТРУДНИКОВ ДЕПАРТАМЕНТА ОХРАНЫ И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Клещенко И.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Яцкевич А.Ю. – магистр пед. наук, ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. Разработано веб-приложение для проверки профессиональных знаний сотрудников Департаменты охраны. Веб-приложение позволяет формировать тестовый материал, назначать тестирование, отвечать на вопросы теста, формировать отчеты по результатам тестирования и рейтинг тестируемых. Веб-приложение имеет адаптивный интерфейс, разработанный с учетом принципов эргономики и позволяющий использовать его как на стационарных, так и на мобильных устройствах.

Ключевые слова: веб-приложение, автоматизированное тестирование, эргономическое проектирование, адаптивный дизайн, ASP.NET Core

Введение. На сегодняшний день контроль профессиональных знаний сотрудников может и должен строиться с использованием современных коммуникационных и информационных технологий, в том числе с применением специализированных программных систем. Проблемой является то, что представленное на рынке программное обеспечение для контроля знаний ориентировано на работу с персональными компьютерами, что налагает определенные ограничения, связанные с возможностью его применения: для проведения массового тестирования на рабочем месте необходимо наличие необходимого числа свободных персональных компьютеров.

Цель проекта: спроектировать и разработать с учетом принципов эргономики веб-приложение для проверки профессиональных знаний сотрудников, предназначенное для разработки и прохождения тестового материала, позволяющее комфортно работать как на персональных компьютерах и ноутбуках, так и на мобильных устройствах.

Основная часть. Аналогами рассматриваемого веб-приложения являются приложения Indigo [1] и SunRav Web Class [2]. Ключевыми недостатками Indigo и SunRav Web Class является то, что ни одна из них не позволяет формировать рейтинг пользователя по результатам тестирования и не предполагает выделенную роль проверяющего – его функции объединяются с ролью администратора. Также Indigo не обладает полноценным веб-интерфейсом – для формирования тестового материала используется десктопное приложение, что накладывает существенные ограничения на применение системы.

Разработанное веб-приложение Traning Test реализует следующие функции:

– авторизация;
– редактирование подразделений;
– редактирование пользователей;
– редактирование тестов;
– редактирование вопросов;
– редактирование ответов;
– регистрация попыток прохождения тестов;
– подбор участников тестирования;
– завершение тестирования;
– просмотр результатов прохождения тестов;
– ответы на вопросы теста;
– формирование результатов тестируемого по определенному тестовому набору;
– формирование сводных результатов по определенному тестированию;
– формирование сводного рейтинга тестируемых;

– формирование сводных результатов тестируемого.

Набор вопросов для тестирования формируется индивидуально для каждого тестируемого путем случайного выбора из доступных вопросов теста, список ответов на вопрос также формируется в случайном порядке. Для каждого вопроса указывается его тип, число баллов, которые приносит вопрос при правильном ответе. Тест считается пройденным, если набрано минимально необходимое число баллов.

Преимуществами разработанного веб-приложения в сравнении с аналогами являются наличие функций автоматического формирования тестовых наборов и рейтинга пользователя по результатам тестирования. Также проектируемая система предоставляет доступ по ролям (администратор, проверяющий, тестируемый) и веб-интерфейс для всех категорий пользователей.

Веб-приложение функционирует в клиент-серверной архитектуре. Серверная часть веб-приложения, реализующая бизнес-логику и формирование интерфейса пользователя, выполнена на базе платформы ASP.NET Core на языке программирования C#. Для хранения данных используется СУБД Microsoft SQL Server. Взаимодействие с базой данных обеспечивается фреймворком Entity Framework. Логическая схема базы данных веб-приложения, иллюстрирующая сущности предметной области и связи между ними, приведена на рисунке 1.

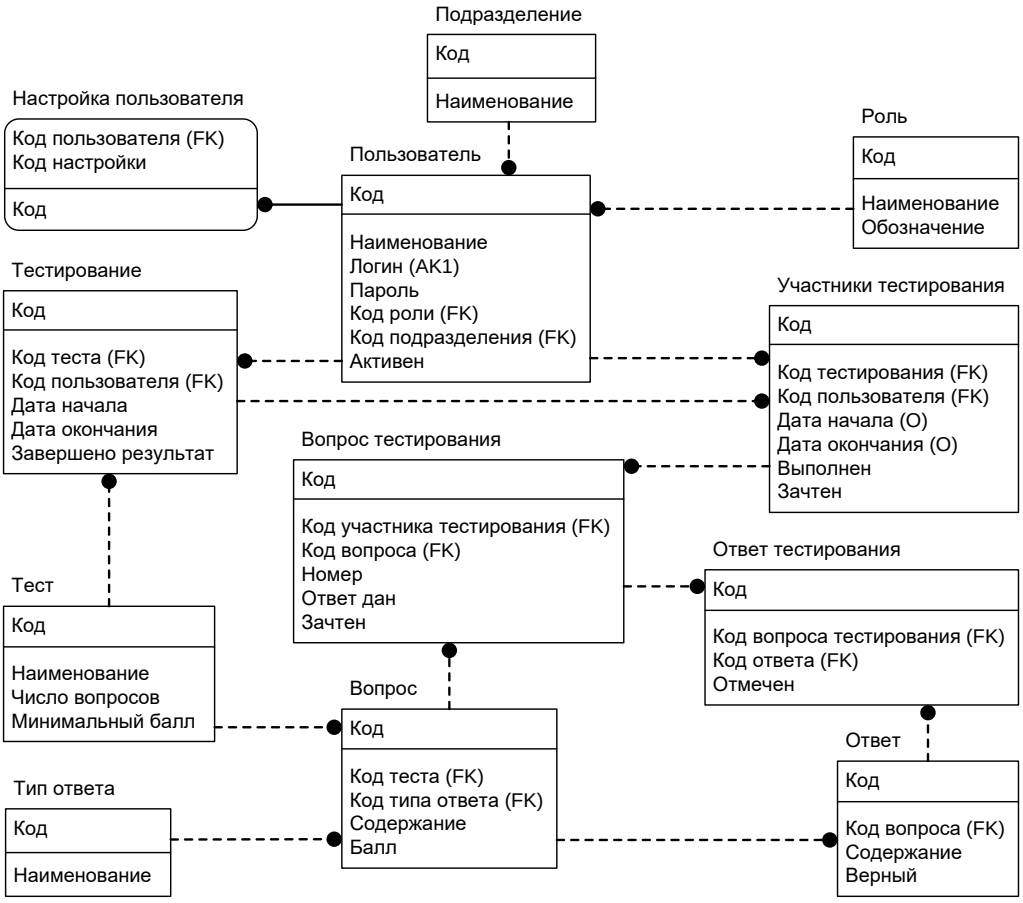


Рисунок 1 – Логическая схема базы данных веб-приложения

Адаптивный пользовательский интерфейс веб-приложения реализован с использованием Bootstrap – открытого и бесплатного HTML, CSS и JS фреймворка [3]. Для доступа к пользовательскому интерфейсу может использоваться любой актуальный браузер на основе Chromium.

Эргономическое обеспечение веб-приложения для проверки профессиональных знаний сотрудников Департамента охраны включало проведение эргономического проектирования и оценки.

На первом этапе эргономического проектирования был выполнен анализ содержания функций и их распределение между пользователем и техническими средствами. Распределение функций выполнено с учетом преимущественных возможностей человека и технической части системы, что позволило обеспечить сочетание высокой скорости автоматизации и скорости обработки данных с сохранением за человеком функций контроля и управления работой веб-приложения.

Разработка и учет психологических и психофизиологических требований к веб-приложению позволил спроектировать эргономичный графический интерфейс, обеспечивающий высокую продуктивность работы пользователей, их удовлетворенность и производительность.

Было проведено юзабилити-тестирование, показавшее соответствие разработанного веб-приложения эвристикам Нильсена, в частности, таким как «ясный статус системы», «соответствие реальному миру», «последовательность и стандарты», «эстетичность и минимализм» [4].

По результатам эргономической оценки проекта пользовательского интерфейса показатель эргономичности равен 0,82, что соответствует оценке «отлично».

Заключение. В результате разработано веб-приложение для проверки профессиональных знаний сотрудников Департамента охраны, удовлетворяющее эргономическим требованиям. Преимуществами разработанного программного средства являются: автоматическое формирование наборов тестовых с заданным количеством вопросов из числа предусмотренных тестом, представленных в случайном порядке; адаптивный дизайн и интуитивно понятный интерфейс, обеспечивающие. удобное прохождение тестирования в ходе проверки профессиональных знаний.

Список литературы

1. *INDIGO – Программа создания тестов и тестирования сотрудников [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://indigotech.ru/. Дата доступа: 24.02.2026.*

2. *SunRav WebClass – платформа для онлайн обучения и тестирования [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://sunrav.ru/webclass.html. Дата доступа: 24.02.2026.*

3. *Bootstrap – The most popular HTML, CSS and JS library [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://getbootstrap.com/. Дата доступа: 24.02.2026.*

4. *Эвристики Нильсена: 10 принципов юзабилити дизайна сайтов [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://practicum.yandex.ru/blog/evristiki-nilsena-v-dizayne-interfeysov/. Дата доступа: 24.02.2026.*

UDC 004.415.2

A WEB APPLICATION FOR TESTING THE PROFESSIONAL KNOWLEDGE OF THE STAFF OF THE DEPARTMENT OF SECURITY AND ITS ERGONOMIC SUPPORT

Kleshchenko I.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Yatskevich A.Y. - Master of pedagogical sciences, senior lecturer of the department of EPE

Annotation. A web application has been designed and developed to test the professional knowledge of Security Department employees. The web application allows you to create test material, assign tests, answer test questions, generate reports on test results and a rating of test takers. The web application has an adaptive interface, designed taking into account the principles of ergonomics and allowing it to be used on both stationary and mobile devices.

Keywords: web application, automated testing, ergonomics-based design, responsive design ASP.NET Core

УДК 004.774:629.02

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОДБОРА КОМПЛЕКТУЮЩИХ АВТОМОБИЛЯ

Князева Е.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Николаев А.Ю. – ассистент кафедры ИПиЭ

Аннотация. Рассмотрена разработка веб-приложения для автоматизированного подбора комплектующих автомобиля и конфигурирования транспортных средств. Обоснована значимость предметной области и актуальность разработки в условиях цифровизации автомобильного рынка. Проведен краткий анализ существующих решений. Особое внимание уделено эргономическому проектированию интерфейса и алгоритму взаимодействия пользователя с системой. Показано, что разработанное приложение обеспечивает повышение точности подбора деталей и снижение вероятности пользовательских ошибок.

Ключевые слова: веб-приложение, подбор автозапчастей, VIN-код, эргономика интерфейса, база данных, PostgreSQL

Введение. Автомобильная отрасль характеризуется большим разнообразием моделей транспортных средств и комплектующих. Подбор совместимых деталей требует учета ряда параметров: марки автомобиля, модели, года выпуска, типа двигателя и других характеристик. Ошибки при выборе комплектующих могут приводить к дополнительным затратам времени и средств, а также снижать надежность эксплуатации автомобиля [1].

Целью работы является разработка веб-приложения, обеспечивающего автоматизированный подбор комплектующих автомобиля и удобное взаимодействие пользователя с системой.

Основная часть. В настоящее время существует большое количество электронных каталогов автозапчастей и интернет-магазинов. Большинство из них предоставляет пользователю поиск деталей по названию или различным фильтрам. Однако такие системы не всегда учитывают особенности конкретной модели автомобиля, что может приводить к ошибкам при подборе комплектующих.

Электронные каталоги производителей обеспечивают высокую точность подбора, однако обладают сложным интерфейсом и требуют специальных знаний. Интернет-магазины, ориентированные на широкий круг пользователей, часто не содержат механизмов автоматической проверки совместимости деталей.

Анализ существующих решений показал необходимость создания веб-приложения, объединяющего функции конфигурирования автомобиля и автоматизированного подбора совместимых комплектующих с учетом параметров транспортного средства [2].

Разработанное веб-приложение предназначено для владельцев автомобилей, сотрудников сервисных центров и специалистов по продаже автозапчастей.

Система предоставляет следующие возможности:

– подбор комплектующих по VIN-коду автомобиля;
– подбор деталей по параметрам транспортного средства;
– конфигурирование нового автомобиля;
– автоматическая проверка совместимости деталей;
– сравнение выбранных комплектующих;
– расчет стоимости заказа;
– сохранение конфигураций и оформление заказа.

Использование системы позволяет сократить время подбора комплектующих и повысить точность выбора, что особенно важно при работе с большим ассортиментом деталей [3].

В процессе проектирования учитывались следующие принципы:

– логичность структуры интерфейса;
– пошаговый выбор параметров автомобиля;

– минимизация количества вводимых данных;
– визуальные подсказки и уведомления;
– адаптивность интерфейса для различных устройств.

После разработки прототипов интерфейса проведено тестирование удобства использования. Только после этого началась программная реализация системы. Такой подход позволил снизить когнитивную нагрузку пользователя и повысить эффективность взаимодействия с приложением [4].

Общий алгоритм взаимодействия пользователя с системой представлен на рисунке 1.

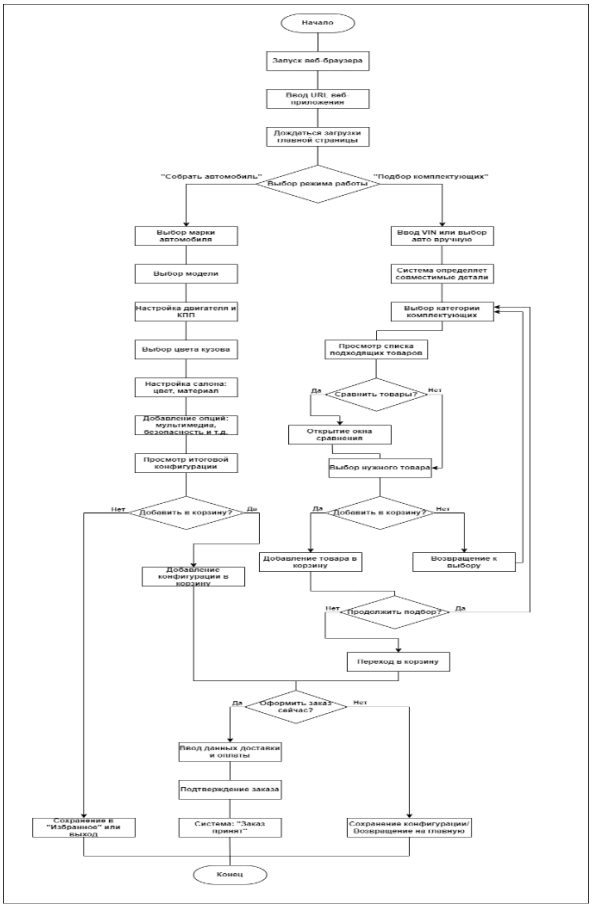


Рисунок 1 – Алгоритм работы пользователя веб-приложения для подбора комплектующих автомобиля

Пользователь запускает веб-приложение и выбирает режим работы: конфигурирование автомобиля или подбор комплектующих. При подборе деталей осуществляется ввод VIN-кода либо выбор параметров автомобиля вручную. Система формирует список совместимых комплектующих и предоставляет возможность их сравнения. После выбора товара выполняется автоматическая проверка совместимости и расчет стоимости. Далее пользователь может добавить товар в корзину и оформить заказ либо сохранить конфигурацию.

Для хранения данных веб-приложения используется реляционная база данных PostgreSQL. Выбор данной системы управления базами данных обусловлен ее надежностью, масштабируемостью и поддержкой сложных запросов [5].

Структура базы данных включает следующие основные таблицы:
– пользователи (Users);
– автомобили (Vehicles);
– комплектующие (Parts);
– категории комплектующих (Categories);
– заказы (Orders);
– элементы заказа (Order_Items);
– таблица совместимости деталей с автомобилями (Compatibility).

Ключевым элементом является таблица совместимости, позволяющая сопоставлять параметры автомобиля с характеристиками комплектующих. Это обеспечивает корректность подбора и предотвращает выбор несовместимых деталей.

Связи между таблицами реализованы с использованием внешних ключей, что обеспечивает целостность данных и возможность масштабирования системы.

Разработанное веб-приложение объединяет функции конфигурирования автомобиля, подбора комплектующих и проверки их совместимости в едином интерфейсе. Использование принципов эргономического проектирования позволило создать интуитивно понятную систему взаимодействия, а применение базы данных PostgreSQL обеспечивает надежное хранение информации и возможность дальнейшего расширения функциональности.

Заключение. В ходе работы разработано веб-приложение для автоматизированного подбора комплектующих автомобиля. Проведен анализ существующих решений и обоснована актуальность разработки. Особое внимание уделено эргономическому проектированию интерфейса и структуре базы данных. Реализованный алгоритм работы системы обеспечивает последовательность действий пользователя и автоматическую проверку совместимости комплектующих. Использование базы данных PostgreSQL обеспечивает надежность хранения информации и возможность масштабирования. Разработанное приложение позволяет повысить точность подбора комплектующих и сократить время поиска необходимых деталей, что подтверждает эффективность предложенного решения.

Список литературы

1. *Sommerville, I. Software Engineering / I. Sommerville. – 10th ed. – Boston : Pearson, 2016. – 816 p.*

2. *Pressman, R. S. Software Engineering: A Practitioner's Approach / R. S. Pressman, B. R. Maxim. – 9th ed. – New York : McGraw-Hill Education, 2020. – 992 p.*

3. *Norman, D. A. The Design of Everyday Things / D. A. Norman. – Revised and expanded ed. – New York : Basic Books, 2013. – 368 p.*

4. *ГОСТ Р ИСО 9241-210–2012. Эргономика взаимодействия человек–система. Человеко-ориентированное проектирование интерактивных систем. – Введ. 2013–12–01. – М. : Стандартинформ, 2013. – 32 с.*

5. *Stonebraker, M. Архитектура систем баз данных / М. Стоунбрейкер, Дж. Хеллерстейн; пер. с англ. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 784с.*

UDC 004.774:629.02

WEB APPLICATION FOR AUTOMATED SELECTION OF AUTOMOBILE COMPONENTS

Knyazeva E.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Nikolaev A.Yu. – assistant of the department of EPE

Annotation. The paper considers the development of a web application for automated selection of automobile components and configuration of vehicles. The significance of the subject area and the relevance of the development in the context of digitalization of the automotive market are substantiated. A brief analysis of existing solutions is carried out. Special attention is paid to ergonomic interface design and user interaction algorithms. It is shown that the developed application improves the accuracy of component selection and reduces the number of user errors.

Keywords: web application, auto parts selection, VIN code, interface ergonomics, database, PostgreSQL

УДК 004.738.5:792

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ПОДБОРА И АНАЛИЗА ТЕАТРАЛЬНЫХ ПОСТАНОВОК

Кругликов П.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Пилиневич Л.П. – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры ИПиЭ

Аннотация. В данной работе решается задача создания веб-приложения для подбора и анализа театральных постановок с использованием современных технологий. Разрабатываемая система обеспечивает удобный интерфейс, быструю обработку данных и персонализированные рекомендации на основе предпочтений пользователя.

Ключевые слова: театр, веб-приложение, каталог, персонализированный, рекомендации, алгоритм.

Введение. В современном мире взаимодействие человека с цифровыми сервисами всё чаще приобретает удалённый характер. С развитием интернета появилась возможность получать информацию о культурных событиях из разных источников, не выходя из дома. С каждым годом скорость передачи данных увеличивается, а вместе с тем и увеличиваются объёмы данных, которые обрабатывают пользователи. Первые годы после появления интернет использовался исключительно узкими кругами людей для решения конкретных задач. Популярность интернет начал набирать после появления первых браузеров, а затем и сайтов. Скорость и стоимость интернета того времени позволяла пользователям только обмениваться сообщениями и выполнять простые поисковые запросы. С увеличением возможностей интернета увеличивались и требования пользователей, что выливается сейчас в постепенную цифровизацию общественной жизни [1].

Одной из главных составляющих культурной жизни общества является театр. Люди, живущие в городах с развитой театральной инфраструктурой, всё чаще начинают интересоваться премьерами, следить за репертуаром или искать «что-нибудь новенькое» для культурного досуга. Приложение, объединяющее в себе удобный каталог спектаклей и инструменты для их анализа, удовлетворит одну из важных потребностей современного человека – в качественном и осознанном выборе культурного досуга [2].

Основная часть. Веб-приложение – это клиент-серверное приложение, в котором клиент взаимодействует с сервером через браузер. Оно используется для предоставления пользователям доступа к различным функциям и данным, в данном случае – для поиска и анализа театральных постановок.

В основе любого рекомендательного сервиса лежит система фильтрации и ранжирования, основанная на популярности или рейтинге тех или иных объектов, которые в будущем чаще выдаются как рекомендации пользователям. В основе разрабатываемого приложения кроме традиционных систем фильтрации, основанных на жанре или театре, существует и другая.

Кажется, что только жанровой классификации недостаточно для точного подбора спектакля, и остаётся неизвестным, как помочь пользователю выбрать постановку, соответствующую его настроению. Эту проблему решает введённая в этом сервисе двухуровневая система фильтрации по эмоциям. Она основана на тегах, которые пользователи могут присваивать спектаклям (например, «грустное», «веселое», «философское»), а также на более конкретных эмоциональных характеристиках («заставляющее плакать», «поднимающее настроение», «заставляющее задуматься»). Также для системы рекомендации важна история просмотров самого пользователя. Какие спектакли он уже смотрел, как оценивал, какие фильтры использовал – всё это становится основой для персонализированных рекомендаций. Далее система на основе истории просмотров, поставленных оценок и выбранных фильтров решает, какие спектакли рекомендовать пользователю в первую очередь.

Также система не забывает и о личных потребностях пользователей. Как и любой другой интернет-сервис, веб-приложение для подбора и анализа театральных постановок должен быть удобным и полезным. Пользователь имеет возможность в настройках своего аккаунта определить, спектакли каких жанров он предпочитает, в каких театрах, с какими актерами. Также он может указать предпочтительную длительность спектакля, возрастные ограничения и, что самое важное, – эмоциональную составляющую. На основе вышеуказанных предпочтений система будет сама фильтровать существующие спектакли и формировать персональные подборки по указанным критериям, выбирая постановки, основываясь на отзывах и популярности.

В разрабатываемом приложении предусмотрена и удобная система для работы с рецензиями. В разделе «Мои рецензии» пользователь может просматривать все написанные им отзывы, редактировать их или удалять. При редактировании рецензии пользователь возвращается в интерфейс создания, где он продолжает работать с тем же интерфейсом, что и при создании рецензии, после чего публикация получает пометку «отредактировано».

При написании рецензии на спектакль пользователь может поставить оценку по шкале от 1 до 5 и написать развернутый текст. Также он может указать, с кем он смотрел постановку – один, с партнером, с друзьями или с детьми. Всё это необходимо для составления более точных рекомендаций другим пользователям в будущем и для определения целевой аудитории спектакля.

Для повышения удобства использования в приложении реализованы дополнительные функции: переключение между светлой и темной темой интерфейса, возможность просмотра постера спектакля в высоком разрешении, фотогалерея сцен, а также встроенный словарь театральных терминов с всплывающими подсказками при наведении на сложные слова.

Заключение. Современные веб-приложения прочно закрепились в жизни каждого человека и сопровождают его с утра до вечера. Уже никого не удивишь возможностью найти в интернете афишу театра. Каждый популярный сервис стремится стать удобным инструментом для решения конкретных задач. Веб-приложение для подбора и анализа театральных постановок должно стать следующим этапом эволюции культурных онлайн-сервисов и стать незаменимым помощником в одной из важных составляющих жизни человека – культурном досуге.

Список литературы

1. *Цифровизация культурного пространства: тенденции и перспективы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovizatsiya-kulturnogo-prostranstva. – Дата доступа: 26.02.2026.*

2. *Петрова, Е.В. Формирование понятия цифровой культурной среды / Е.В. Петрова // Актуальные проблемы развития общества, экономики и права: сборник научных статей молодых преподавателей и аспирантов / Сост. Т. В. Локтева. – М., 2024. – С. 45–52.*

UDC 004.738.5:792

WEB APPLICATION FOR SELECTION AND ANALYSIS OF THEATRICAL PRODUCTIONS

Kruglikov P.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Pilinevich L.P. – Dr. of Sci., Professor, Professor of the Department of EPE

Annotation. This paper addresses the challenge of creating a web application for selecting and analyzing theatrical productions using modern technologies. The developed system provides a user-friendly interface, fast data processing, and personalized recommendations based on user preferences.

Keywords: theater, web application, catalog, personalized, recommendations, algorithm.

УДК 004.774:821.1(0.027.3)

ВЕБ-ПЛАТФОРМА ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ И ОБСУЖДЕНИЯ ПРОИЗВЕДЕНИЙ СОВРЕМЕННОЙ ХУДОЖСТВЕННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ЕЁ ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Любецкий А.Д.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Пархоменко Д.А. – ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. В работе представлена разработка веб-платформы для публикации и обсуждения литературных произведений. Платформа предоставляет инструменты для персонализации пользовательских профилей, динамическое обновление контента и сбор статистики взаимодействий, позволяя авторам и модераторам оценивать популярность произведений. Технологическая реализация включает клиентскую часть на HTML, CSS и JavaScript, серверную часть на Java и хранение данных в PostgreSQL.

Ключевые слова: веб-платформа, публикация произведений, персонализация, Java, JavaScript, PostgreSQL, эргономика интерфейса.

Введение. Цифровизация литературной среды изменила условия создания и чтения произведений. Авторы публикуют свои произведения в сети, но существующие площадки порой перегружены ненужной функциональностью, усложняют навигацию или не создают комфортных условий для общения между участниками. В результате авторам сложно продвигать свои произведения, а сами сервисы теряют удобство и аудиторию.

С помощью разработанной платформы авторы могут легко загружать произведения и отслеживать статистику. Кроме того, читатели имеют возможность оценивать произведения, оставлять комментарии, писать рецензии, участвовать в обсуждениях или даже создавать собственные.

Основная часть. Разработанная веб-платформа обеспечивает следующие функциональные возможности:

– автоматизация работы с контентом. Добавление, редактирование и хранение текстов, комментариев и оценок выполняются через серверную часть автоматически, что снижает вероятность ошибок;

– персонализация. У пользователей имеется доступ к личным профилям, где отображается информация о загруженных произведениях, комментариях и активности на платформе;

– гибкость и адаптивность. Система позволяет легко расширять функционал и изменять структуру интерфейса без влияния на работу существующих компонентов;

– удобство взаимодействия. Динамическое обновление страниц обеспечивает быстрый отклик при работе с комментариями, рейтингами и обсуждениями;

– модерация и контроль контента. Авторы могут управлять видимостью публикаций, а модерация может удалять произведения и комментарии в случае нарушения правил платформы;

– аналитика активности. Платформа собирает статистику просмотров, оценок, рецензий и взаимодействий пользователей, позволяя пользователям анализировать популярность произведений;

– уведомления и оповещения. Пользователи получают уведомления о комментариях, ответах в обсуждениях и изменениях статуса своих публикаций.

Платформа была спроектирована с учётом требований эргономики пользовательских интерфейсов. Основное внимание уделено упрощению навигации и снижению когнитивной нагрузки при работе с системой. Структура страниц и расположение элементов интерфейса организованы таким образом, чтобы пользователи могли быстро находить произведения, публиковать их и участвовать в обсуждениях без необходимости выполнять лишние действия.

Технологический стек платформы включает HTML и CSS. HTML используется для структурирования содержимого веб-страниц и определения расположения элементов интерфейса, а CSS отвечает за стилизацию, цветовое оформление, шрифты и адаптивность интерфейса, что делает платформу удобной для работы на различных устройствах [1].

JavaScript используется для реализации интерактивности и динамического обновления интерфейса [2]. Он обеспечивает обработку действий пользователей, таких как отправка комментариев, выставление оценок и участие в обсуждениях, а также подгрузку новых элементов без необходимости полной перезагрузки страниц.

Серверная часть реализована на Java и выполняет ключевую роль в обработке запросов, управлении данными и синхронизации работы всех компонентов системы [3]. Сервер принимает пользовательские действия, проверяет их корректность, взаимодействует с базой данных и возвращает обновлённую информацию на клиентскую часть, гарантируя целостность данных и корректное функционирование платформы.

PostgreSQL используется как основная система управления базой данных. Она хранит структурированную информацию о пользователях, произведениях, комментариях и рейтингах, обеспечивая надёжность данных и возможность их анализа. Благодаря реляционной модели данных становится возможным быстро извлекать статистику, строить отчёты о популярности публикаций и активности аудитории, а также масштабировать платформу по мере увеличения числа пользователей [4].

Заключение. Разработанная веб-платформа позволяет публиковать, комментировать и оценивать произведения. При проектировании интерфейса учитывались принципы эргономики и удобства взаимодействия, что обеспечивает интуитивное использование платформы и комфортную навигацию. Система позволяет анализировать активность аудитории, централизованно хранить информацию и предоставляет эффективные инструменты для взаимодействия между пользователями и контроля контента.

Список литературы

1. *HTML и CSS: основы веб-разработки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Learn/Getting_started_with_the_web/HTML_basics – Дата доступа: 01.03.2026.*

2. *The Role of JavaScript in Building Dynamic Websites [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://dev.to/javascripttutorial/the-role-of-javascript-in-building-dynamic-websites-4bf4. Дата доступа: 03.03.2026*

3. Building Web Applications with Java: Server-Side Development Guide *[Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.oracle.com/java/technologies/java-ee-glance.html. Дата доступа: 05.03.2026*

4. *PostgreSQL Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.postgresql.org/docs/. Дата доступа: 1.03.2026*

UDC 004.774:821.1(0.027.3)

A WEB PLATFORM FOR PUBLICATION AND DISCUSSION OF CONTEMPORARY FICTION AND ITS ERGONOMIC SUPPORT

Lyubetsky A.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Parkhomenko D.A. – Senior Lecturer of the Department of EPE

Annotation. This work presents the development of a web platform for publishing and discussing literary work. The platform provides tools for personalizing user profiles, dynamically updating content, and collecting interaction statistics, allowing authors and moderators to evaluate the popularity of works. The technological implementation includes a client-side component written in HTML, CSS, and JavaScript, a server-side component written in Java, and data storage in PostgreSQL.

Keywords: web platform, work publishing, personalization, Java, JavaScript, PostgreSQL, interface ergonomics.

УДК [004.42 +331.101.1]:159.942.5

МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ МЕНТАЛЬНОГО И ФИЗИЧЕСКОГО ЗДОРОВЬЯ СОВРЕМЕННОГО ОБЩЕСТВА

Макаров К.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Ломонос О.Л. – к.с.-х.н., доцент кафедры ИПиЭ

Аннотация. В работе рассмотрены основные функции мобильного приложения для поддержания ментального и физического здоровья, предоставляющего пользователю инструменты для мониторинга самочувствия, формирования полезных привычек и управления эмоциональным состоянием. Описаны функции трекинга настроения, ведения дневника, выполнения дыхательных и медитативных практик, отслеживания физической активности, постановки целей и работы с системными настройками. Представлена диаграмма вариантов использования.

Ключевые слова: мобильное приложение, функции, ментальное здоровье, физическое здоровье, React Native, Supabase.

Введение. В современном мире проблема поддержания ментального и физического здоровья приобретает все большую значимость. По данным Всемирной организации здравоохранения, каждый четвертый человек в мире в определенный момент жизни сталкивается с ментальными или неврологическими расстройствами [1]. Высокий темп жизни, информационная перегрузка, дефицит физической активности и хронический стресс создают условия, при которых пользователям необходим доступный и удобный инструмент для самостоятельного мониторинга и улучшения своего состояния.

Мобильные приложения в сфере здоровья способны не только информировать пользователя, но и формировать устойчивые привычки, мотивировать к регулярной физической активности и предоставлять инструменты для управления стрессом и эмоциональным состоянием. Анализ пользовательских данных позволяет персонализировать рекомендации, адаптируя контент приложения под индивидуальные потребности каждого пользователя.

Разработка мобильного приложения для поддержания ментального и физического здоровья является актуальной задачей, поскольку современные пользователи ожидают комплексного подхода, объединяющего инструменты для работы с психоэмоциональным состоянием и физической активностью в едином интерфейсе. Пользователю необходим продукт, обеспечивающий быстрый и повсеместный доступ к практикам заботы о здоровье, который учитывает его индивидуальные цели и текущее состояние.

Основная часть. Техническая реализация приложения выполнена с использованием фреймворка React Native. Данный выбор обусловлен необходимостью обеспечения кроссплатформенности приложения, что позволяет использовать единую кодовую базу для платформ iOS и Android, сокращая затраты на разработку и поддержку, а также обеспечивая высокую производительность и нативный пользовательский опыт [2].

В качестве серверной инфраструктуры используется платформа Supabase. Реляционная база данных PostgreSQL, лежащая в основе Supabase, обеспечивает надежное и структурированное хранение пользовательских данных, включая записи о настроении, дневниковые заметки, данные о физической активности и параметры достижения целей. Встроенная система аутентификации Supabase Auth позволяет быстро и, безопасно создавать и управлять учетными записями пользователей, а подписки на изменения данных в реальном времени гарантируют актуальность информации на всех устройствах пользователя [3].

Разрабатываемое приложение сопровождает пользователя на всех этапах заботы о здоровье. При первом запуске и создании учетной записи пользователю предлагается пройти краткий опрос, определяющий его текущее состояние, основные цели и предпочтительные

направления работы над здоровьем. Эти данные становятся основой для формирования персонализированных рекомендаций. В дальнейшем рекомендации адаптируются на основе регулярно вводимых пользователем данных о самочувствии и активности.

Ключевой функцией приложения является трекинг настроения. Пользователь ежедневно отмечает свое эмоциональное состояние, указывая уровень настроения и сопутствующие факторы, такие как качество сна, уровень энергии и наличие стрессовых ситуаций.

Для работы с ментальным здоровьем приложение предоставляет функции ведения личного дневника и доступ к библиотеке дыхательных и медитативных практик. Дневник позволяет пользователю фиксировать мысли, переживания и достижения, а практики медитации и дыхательных упражнений помогают снять напряжение, повысить концентрацию и улучшить общее эмоциональное состояние. Каждая практика сопровождается аудио- или визуальными инструкциями для удобства выполнения.

В блоке физического здоровья реализован трекер активности, который позволяет пользователю фиксировать выполненные тренировки, прогулки и иные виды физической нагрузки. Приложение предлагает пользователю рекомендации по физической активности с учетом его целей и текущего уровня подготовки. Система постановки целей и формирования привычек мотивирует пользователя к регулярному выполнению полезных действий, используя механизмы напоминаний, серий выполнения и визуального прогресса.

Контент приложения представлен в доступной и понятной форме, что упрощает освоение новых методов управления стрессом и поддержания физической формы. Встроенные подсказки и рекомендации помогают пользователю использовать функционал приложения максимально эффективно, а персонализация интерфейса делает взаимодействие с системой еще более комфортным.

Эргономическое проектирование интерфейса основывалось на принципах минимализма, доступности информации и заботы о пользователе. Главный экран содержит краткую сводку текущего состояния, включая настроение за последние дни, прогресс по активным привычкам и рекомендуемые практики. Все элементы управления имеют понятные иконки и подписи. Приложение предусматривает спокойную цветовую схему с использованием мягких, ненавязчивых оттенков, способствующих расслаблению пользователя.

При выделении функциональных требований была разработана диаграмма вариантов использования приложения, которая отображает основные действия пользователя, включая регистрацию и авторизацию, трекинг настроения, ведение дневника, выполнение медитативных и дыхательных практик, отслеживание физической активности, постановку целей и формирование привычек, а также настройку профиля и параметров приложения.

При необходимости изменения данных учётной записи, целей, списка привычек и другой пользовательской информации используется экран «Профиль». Для изменения системных настроек приложения, таких как выбор цветовой темы, настройка уведомлений, управление конфиденциальностью данных и изменение языка интерфейса, пользователь использует экран «Настройки».

Дополнительно в архитектуре приложения предусмотрена система анализа пользовательских данных, направленная на выявление закономерностей в состоянии пользователя и повышении эффективности рекомендаций. На основе накопленных данных о настроении, физической активности и выполнении практик система может формировать более точные рекомендации по управлению стрессом, режиму активности и формированию здоровых привычек.

Диаграмма вариантов использования приложения представлена на рисунке 1.

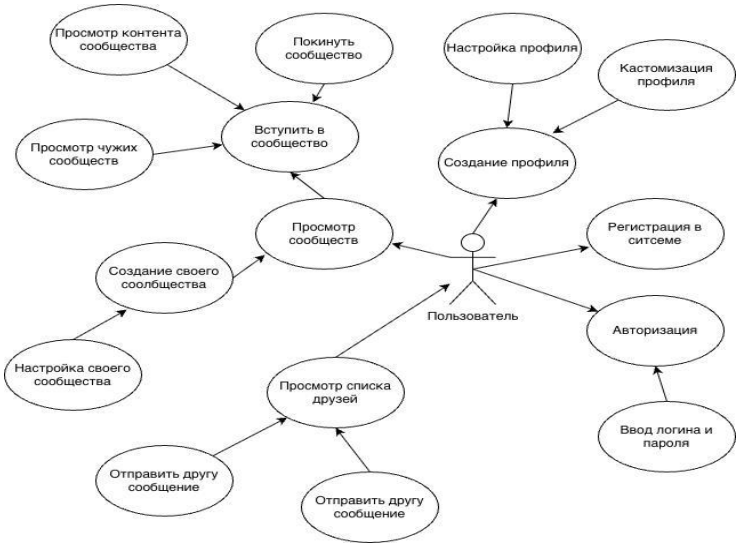


Рисунок 1 – Диаграмма вариантов использования

Диаграмма наглядно показывает функциональные возможности системы, предоставленные пользователю, а также их взаимосвязи. В центре внимания находятся функции мониторинга состояния, а также модули практик и активности, которые формируют ежедневную пользовательскую рутину.

Заключение. Мобильное приложение для поддержания ментального и физического здоровья обеспечивает пользователей современным и доступным инструментом для комплексной заботы о своем состоянии. Благодаря использованию фреймворка React Native и платформы Supabase реализован кроссплатформенный продукт с высокой производительностью и надежной синхронизацией данных. Приложение объединяет функции трекинга настроения, ведения дневника, отслеживания физической активности и формирования полезных привычек, что позволяет охватить широкую аудиторию пользователей, заинтересованных в улучшении качества своей жизни.

Список литературы

1. *Психические расстройства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/mental-disorders.*

2. *Дата доступа: 16.02.2026React Native documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://reactnative.dev/docs/getting-started. Дата доступа: 14.02.2026*

3. *Supabase documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://supabase.com/docs. Дата доступа: 14.02.2026*

UDC [004.42 +331.101.1]:159.942.5

MOBILE APPLICATION FOR MAINTAINING MENTAL AND PHYSICAL HEALTH OF MODERN SOCIETY

Makarau K.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Lomonos O.L. – Cand. of Sci., associate professor of the Department of Engineering Psychology and Ergonomics

Annotation. This work examines the key features of a mobile application for maintaining mental and physical health, providing users with tools for well-being monitoring, habit formation, and emotional state management. The features described include mood tracking, journaling, breathing and meditation exercises, physical activity tracking, goal setting and habit building, as well as profile management and system settings. Represented a use case diagram is provided.

Keywords: mobile application, functions, mental health, physical health, React Native, Supabase.

УДК 004.42:551.509.321(476)(1-21)

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АНАЛИЗА ДИНАМИКИ РАДИАЦИОННОГО ФОНА НА ПРИМЕРЕ ГОРОДОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Муравьёв Д.А., Лакотко В.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Телеш И.А. – к.г.н, доцент, доцент кафедры ИПиЭ

Аннотация. Представлен программный комплекс на C++/Qt для автоматизированного анализа данных радиационного мониторинга. На основе 864 измерений в восьми населенных пунктах Беларуси (2023–2025) выявлена стабильность фона в крупных городах и сохранение повышенных показателей на отдельных территориях. Комплекс применим в образовательных, научно-исследовательских и прикладных целях в системе экологического мониторинга.

Ключевые слова: радиационная безопасность, мониторинг, программный комплекс, анализ данных, временные ряды, статистика, визуализация, Qt.

Введение. Актуальность радиационной безопасности для Беларуси обусловлена долгосрочными последствиями аварии на ЧАЭС: около 23% территории загрязнено, значительное население проживает в зонах отселения. Мониторинг радиационного фона необходим для выявления аномалий, анализа тенденций и оценки рисков. Существующие системы сбора данных функционируют, но их анализ часто ведется вручную, что трудоемко и чревато ошибками. В связи с этим целью работы является разработка программного комплекса для автоматизации сбора, анализа и визуализации данных радиационного мониторинга и его апробация для оценки динамики радиационного фона в регионах Беларуси.

Основная часть. Разработанный программный комплекс автоматизирует полный цикл работы с данными радиационного мониторинга. Программа на C++ с фреймворком Qt обеспечивает кроссплатформенность и производительность. C++ выбран благодаря эффективности и поддержке современных парадигм [2]. Основой служит модуль работы с данными с несколькими режимами ввода: ручное добавление через интерфейс (дата, доза в мкР/ч) и импорт из JSON-файлов для интеграции с базами данных и автоматизированными системами сбора. Интерфейс программы представлен на рисунке 1.

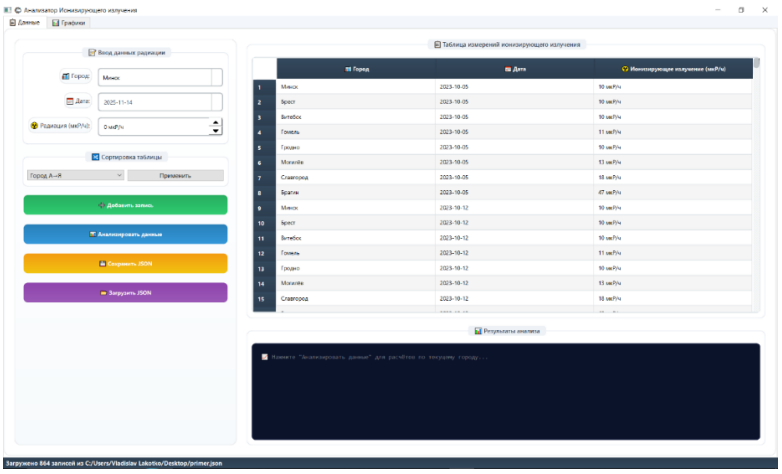


Рисунок 1 – Общий вид интерфейса программного комплекса

Пользователь может добавлять данные вручную через интуитивный графический интерфейс. Для каждого измерения указывается дата, а также значение экспозиционной дозы

в микрорентгенах в час. Кроме ручного ввода, реализована возможность импорта данных из JSON-файлов, что позволяет интегрировать систему с существующими базами данных и автоматизированными системами сбора информации.

Статистический модуль программы выполняет комплексный анализ данных с применением современных методов математической статистики. Для каждого города рассчитываются основные описательные статистики: среднее арифметическое, минимальное и максимальное значения, стандартное отклонение. Реализованные алгоритмы позволяют сравнивать показатели между различными городами и выявлять аномальные значения, которые могут свидетельствовать о локальных проблемах радиационной безопасности. Модуль графиков построен на библиотеке Qt Charts и поддерживает несколько типов отображения информации в соответствии с рекомендуемыми практиками разработки [3]. Данные визуализируются в виде точек измерений. Для выявления основных закономерностей система предоставляет возможность построения линии тренда, которая аппроксимирует общую динамику. Программа поддерживает режим интерактивного масштабирования графиков – пользователь может выделить интересующий временной интервал для детального изучения.

Проведенная визуализация данных [рис.2] наглядно демонстрирует динамику мощности экспозиционной дозы для всех исследуемых городов в едином временном масштабе, что является основой для последующего сравнительного анализа и выявления пространственно-временных закономерностей.

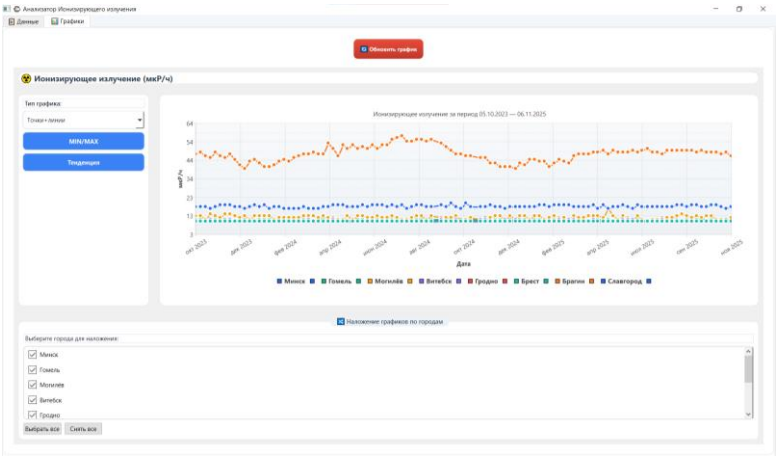


Рисунок 2 – График динамики мощности экспозиционной дозы по городам

Источником данных для анализа послужили результаты еженедельных измерений мощности эквивалентной дозы гамма-излучения в восьми населенных пунктах Беларуси, включая все областные центры, а именно: Минск, Брест, Витебск, Гомель, Гродно, Могилёв, а также города Славгород и Брагин [4]. Период наблюдений охватывает временной интервал с октября 2023 по ноябрь 2025 года, общий объем данных составляет 864 измерений, все значения представлены в единицах измерения микрорентген в час.

Для комплексной оценки радиационной обстановки был проведен статистический анализ данных по всем восьми населенным пунктам. Результаты анализа демонстрируют четкую дифференциацию территорий по уровню радиационного фона. Города Минск, Брест и Гродно показывают абсолютно стабильные показатели на уровне 10 мкР/ч с нулевым стандартным отклонением. Витебск и Гомель демонстрируют незначительные колебания в пределах 10-13 мкР/ч со стандартным отклонением менее 0,5 мкР/ч и коэффициентом вариации менее 5%, что указывает на высокую стабильность радиационной обстановки в этих городах. Могилёв характеризуется средним значением 12,23 мкР/ч с заметными колебаниями и стандартным отклонением 1,42, коэффициент вариации составляет 11,5%, что свидетельствует о средней степени изменчивости показателей. Славгород показывает стабильно повышенный фон на уровне 18-20 мкР/ч с умеренной вариабельностью и стандартным отклонением 1,06. Наиболее высокие показатели зарегистрированы в Брагине,

где среднее значение составляет 47,08 мкР/ч с существенной вариабельностью показателей и стандартным отклонением 4,07, при этом диапазон колебаний достигает 18 мкР/ч. Расчет линейных трендов показал слабую положительную динамику в Брагине с коэффициентом наклона +0,12 мкР/ч в месяц.

Визуальный анализ временных рядов позволил выявить аномальные значения и тенденции: в Брагине зафиксирован максимальный уровень 57 мкР/ч в июле 2024 и 2025 годов, а минимальные значения 39-40 мкР/ч отмечаются в декабре-январе. Иначе говоря, для Брагина был выявлен выраженный сезонный паттерн. Сравнительный анализ выявил существенные различия между выделенными кластерами. Разница между средними значениями столицы и Брагина составляет более 37 мкР/ч, что визуально очевидно и не требует статистической проверки для подтверждения значимости. Анализ коэффициентов вариации показал, что наибольшая относительная изменчивость характерна для Могилёва (11,5%), тогда как в Славгороде при более высоком абсолютном уровне фона наблюдается меньшая относительная вариабельность (4,4%).

Заключение. Проведенный анализ подтвердил соответствие выявленных региональных различий известной картине радиоактивного загрязнения: абсолютная стабильность фона в Минске, Бресте и Гродно (10 мкР/ч) подтверждает радиационную безопасность крупных городов, тогда как сохранение повышенных показателей в Брагине (47 мкР/ч) и Славгороде (18-20 мкР/ч) с выраженной сезонной динамикой в Брагине (максимумы в июле до 57 мкР/ч) обосновывает необходимость продолжения мониторинга в загрязненных зонах. Обнаруженные временные динамики в пострадавших регионах, в частности сезонные колебания в Брагине, могут быть связаны с влиянием атмосферных осадков и состоянием почвенного покрова. Иначе говоря, наблюдаемое увеличение показателей летом может объясняться более интенсивным испарением и выносом радионуклидов на поверхность, а зимнее снижение – наличием снежного покрова, выполняющего экранирующую функцию.

Список литературы

1. *Последствия Чернобыльской катастрофы для Беларуси [Электронный ресурс] / Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь. – Режим доступа: https://chernobyl.mchs.gov.by/informatsionnyy-tsentr/posledstviya-chernobylskoy-katastrofy-dlya-belarusi/. – Дата доступа: 07.11.2025.*

2. *Страуструп, Б. Язык программирования C++. Специальное издание / Б. Страуструп. – М.: Бином, 2019. – 1136 с.*

3. *Бланшет, Ж. Qt 5.10. Профессиональное программирование на C++ / Ж. Бланшет, С. Саммерфилд. – СПб.: БХВ-Петербург, 2018. – 1072 с.*

4. *Радиационный мониторинг в Республике Беларусь [Электронный ресурс] / Республиканский центр радиационного контроля и мониторинга окружающей среды. – Режим доступа: https://rad.org.by/news/. – Дата доступа: 07.11.2025.*

UDC 004.42:551.509.321(476)(1-21)

A SOFTWARE PACKAGE FOR ANALYZING THE DYNAMICS OF THE RADIATION BACKGROUND USING THE EXAMPLE OF CITIES IN THE REPUBLIC OF BELARUS

Muravyov D.A., Lakotko V.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Telesh I.A. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of EPE

Annotation. A software package in C++/Qt for automated analysis of radiation monitoring data is presented. Based on 864 measurements in eight settlements of Belarus (2023-2025), background stability in large cities and the persistence of elevated indicators in certain territories were revealed. The complex is applicable for educational, research and applied purposes in the environmental monitoring system.

Keywords: radiation safety, monitoring, software package, data analysis, time series, statistics, visualization, Qt.

УДК [004.774+159.953.4]:331.101.1

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ТРЕНИРОВКИ ПАМЯТИ И ВНИМАНИЯ С ФУНКЦИЕЙ АДАПТАЦИИ ИНТЕРФЕЙСА ПОД ОСОБЕННОСТИ ВОСПРИЯТИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Павлова А.Д.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Карпович Е.Б. – ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. В статье представлена разработка веб-приложения, предназначенного для тренировки памяти и внимания с функцией адаптации интерфейса под индивидуальные особенности восприятия пользователей. Приложение включает диагностические тесты и тренировочные упражнения, направленные на развитие когнитивных функций в процессе взаимодействия с системой. В рамках работы предусмотрен начальный тест, результаты которого используются для адаптации пользовательского интерфейса под индивидуальные особенности восприятия пользователя. Особое внимание уделено эргономическому проектированию интерфейса, методам оценки когнитивных характеристик и повышению эффективности тренировок памяти и внимания. Разработка реализована с использованием *JavaScript*, *Node.js*, *React.js* и *PostgreSQL*, что обеспечивает стабильность, масштабируемость и высокую производительность.

Ключевые слова: веб-приложение, тренировка, когнитивные функции, развитие, адаптивный интерфейс

Введение. С распространением цифровых технологий и увеличением времени, проводимого за экранами, наблюдается рост когнитивной нагрузки и снижение способности к длительной концентрации. Поэтому тренировка когнитивных функций особенно важна в условиях постоянных изменений, когда умение быстро переключаться и удерживать информацию становится конкурентным преимуществом [1].

Таким образом, создание цифровых инструментов, способствующих развитию когнитивных способностей, отвечает актуальным социальным и медицинским вызовам. Особенно важным становится индивидуализированный подход, учитывающий особенности восприятия. Это позволяет не только повысить эффективность тренировок, но и сделать процесс развития интеллекта комфортным и мотивирующим.

Целью данной работы является разработка веб-приложения для тренировки памяти и внимания с функцией адаптации интерфейса под индивидуальные особенности восприятия пользователей. Объектом исследования выступают когнитивные функции человека, а предметом – методы и средства оценки и улучшения состояния когнитивных функций.

Основная часть. Разработанное веб-приложение представляет собой программное решение, объединяющее модули диагностики и развития когнитивных функций в единой цифровой среде. Основной инновационной составляющей системы является наличие блока пре-тестирования, который позволяет автоматически корректировать визуальные параметры интерфейса (размер шрифта, цветовую схему и размеры элементов управления) под индивидуальные перцептивные возможности конкретного человека. Программа обеспечивает не только выполнение тренировочных упражнений, но и непрерывный сбор данных о поведении пользователя для оценки эффективности процесса обучения.

Актуальность данного исследования обусловлена стремительным ростом сложности информационных систем, что ведет к существенному увеличению когнитивной нагрузки на пользователей. Избыточная ментальная нагрузка часто становится причиной ошибок, снижения продуктивности и быстрой утомляемости при работе с цифровыми интерфейсами. Разработка инструментов, помогающий тренировать когнитивные навыки и диагностировать их состояние, а также способных автоматически адаптироваться под индивидуальные пороги

восприятия информации, является критически важной задачей для повышения эргономичности современных программных продуктов.

Архитектура системы реализована на основе трехструктурной модели: клиент, сервер и база данных, что гарантирует стабильность и масштабируемость приложения. Клиентская часть построена с использованием библиотеки *React.js*, обеспечивающей высокую отзывчивость и гибкость интерфейса при взаимодействии с пользователем [2]. Серверная часть, реализованная на платформе *Node.js*, отвечает за обработку событий, маршрутизацию и выполнение алгоритмов анализа данных, в то время как СУБД *PostgreSQL* обеспечивает надежное хранение профилей пользователей и результатов их тестирования.

Преимущества разработанного решения заключаются в реализации принципа индивидуализации визуальной среды на основе объективных диагностических данных. В отличие от стандартных тренажеров со статичным интерфейсом, данная система минимизирует когнитивные усилия пользователя на этапе восприятия информации за счет предварительной настройки шрифтов и контрастности. Это позволяет человеку сфокусировать все ресурсы внимания непосредственно на выполнении задачи, снижая побочную нагрузку от взаимодействия с самой системой (рисунок 1).

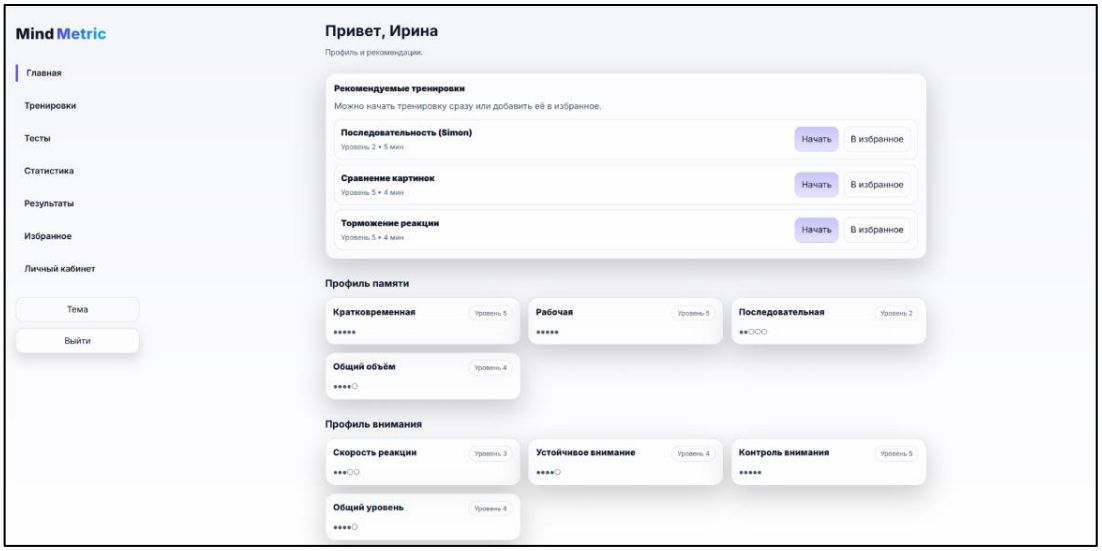


Рисунок 1 – Макет главной страницы

Дополнительным преимуществом является комплексный подход к анализу эффективности тренировок. Система регистрирует не только итоговую точность ответов, но и детальные поведенческие метрики: время реакции на различные стимулы, интервалы между действиями и динамику возникновения ошибок. Такой детализированный сбор данных позволяет формировать глубокий психологический профиль пользователя и предлагать максимально точные рекомендации по подбору сложности заданий.

Процесс эксплуатации веб-приложения начинается с теста для анализа адаптации интерфейса, который проводится в три этапа. На первом этапе система оценивает читаемость текста, фиксируя точность действий пользователя при чтении фрагментов различного кегля, и устанавливает комфортный размер шрифта. Второй этап посвящен анализу цветовосприятия: при обнаружении затруднений в условиях низкой контрастности автоматически активируется режим с повышенным контрастом и выраженными цветовыми акцентами. На третьем этапе проверяется различимость кнопок и иконок, на основании чего корректируются размеры интерактивных компонентов для минимизации риска случайных нажатий [3].

После настройки интерфейса пользователь переходит к блоку тренировки памяти. Тест на кратковременную зрительную память требует воспроизведения набора исчезающих геометрических фигур. Оценка рабочей памяти осуществляется через последовательное предъявление стимулов и определение их совпадения с предыдущими объектами. Тест на последовательную память проверяет способность запоминать и восстанавливать

упорядоченные цепочки символов. По итогам этих испытаний формируются количественные показатели, определяющие объем и точность удержания информации в памяти.

Завершающим этапом являются тесты на внимание, оценивающие четыре его ключевых аспекта. Концентрация и устойчивость проверяются в ходе монотонного поиска заданных элементов среди множества стимулов. Избирательность внимания исследуется в условиях информационного конфликта, когда пользователю необходимо подавлять мешающие факторы. Способность к распределению внимания оценивается через параллельное выполнение двух задач, например, отслеживание символов и реагирование на движение объекта. Полученные данные позволяют системе автоматически подобрать тренировочную программу, соответствующую текущему уровню развития пользователя.

Заключение. Разработанное веб-приложение представляет собой эффективный инструмент для тренировки памяти и внимания пользователей и демонстрирует практическую применимость принципов эргономического проектирования при создании когнитивно-ориентированных информационных систем. Приложение включает диагностические тесты и тренировочные упражнения, направленные на развитие когнитивных функций, а также реализует механизм адаптации пользовательского интерфейса под индивидуальные особенности восприятия.

Благодаря использованию начального тестирования система автоматически настраивает параметры интерфейса, обеспечивая комфортные условия взаимодействия пользователя с приложением. Модульная архитектура и применение современных веб-технологий обеспечивают масштабируемость, стабильность и удобство сопровождения разработки. Использование разработанного приложения позволяет определить уровень развития когнитивных функций (памяти и внимания) пользователя, а также повысить его путем прохождения тестов и соответствующих тренировок.

Список литературы

1. *Когнитивные функции человека и их развитие в цифровой среде. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://cyberleninka.ru/. Дата доступа: 20.02.2026.*

2. *React, JavaScript-библиотека для создания пользовательских интерфейсов [Электронный ресурс]. Режим доступа: https:. https://ru.react.js.org/. Дата доступа: 21.02.2026.*

3. *Головач, В. В. Дизайн пользовательского интерфейса : пособие / В. В. Головач. – Москва : Юзетикс, 2015. – 64 с.*

UDC [004.774+159.953.4]:331.101.1

WEB APPLICATION FOR MEMORY AND ATTENTION TRAINING WITH THE FUNCTION OF ADAPTING THE INTERFACE TO THE USERS PERCEPTION AND ITS ERGONOMIC SUPPORT

Pavlova A.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Karpovich E.B. – Senior Lecturer at the Department of Engineering Psychology and Electronics

Annotation. The article presents the development of a web application designed for memory and attention training with the function of adapting the interface to the individual characteristics of users' perception. The application includes diagnostic tests and training exercises aimed at developing cognitive functions in the process of interaction with the system. The work includes an initial test, the results of which are used to adapt the user interface to the individual characteristics of the user's perception. Special attention is paid to the ergonomic design of the interface, methods for assessing cognitive characteristics, and improving the effectiveness of memory and attention training. The development is implemented using JavaScript, Node.js, and React.js and PostgreSQL, which provides stability, scalability, and high performance.

Keywords: web application, training, cognitive functions, development, adaptive interface

УДК 004.03

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ НА ПРОМЫШЛЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ ПРИ ПОМОЩИ RFID

Прокопенко Д.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Цявловская Н.В. – ст. преподаватель кафедры, магистр технических наук

Аннотация. Разработана автоматизированная система контроля доступа на базе микроконтроллера ESP32 и RFID-технологии. Особенностью системы является интеграция с веб-сервером для управления рабочими графиками. Предложена методика динамического учета рабочего времени с визуализацией статуса доступа сотрудника и статуса работы микроконтроллера на LCD-дисплее.

Ключевые слова: система контроля доступа, RFID, ESP32, автоматизация учета, веб-интерфейс

Введение. Современное промышленное предприятие требует высоких стандартов учета рабочего времени и безопасности доступа на это предприятие. Традиционные журналы посещения и механические турникеты и другие системы безопасного доступа на предприятие не обеспечивают достаточной гибкости для управления сменными графиками и оперативной выдачи штрафов за опоздания на рабочее место [1]. Внедрение технологий IoT позволяет создать распределенные системы учета соблюдения рабочего графика с центральным управлением администрацией для контроля соблюдения рабочего графика [2].

В данной статье показано, что интеграция микроконтроллерных средств с веб-технологиями позволяет не только фиксировать факт прохода сотрудника, но и автоматически анализировать соблюдение трудового графика системой в реальном времени.

Основная часть. При проектировании системы контроля доступа для промышленного предприятия необходимо решить следующие две задачи [3]:

– обеспечить надежную идентификацию сотрудника и отображение статуса нахождения на рабочем месте в реальном времени;

– реализовать гибкую систему управления графиками смен сотрудников и автоматического расчета отклонений от трудового графика.

Для решения данных задач была спроектирована следующая архитектура взаимодействия (рисунок 1):

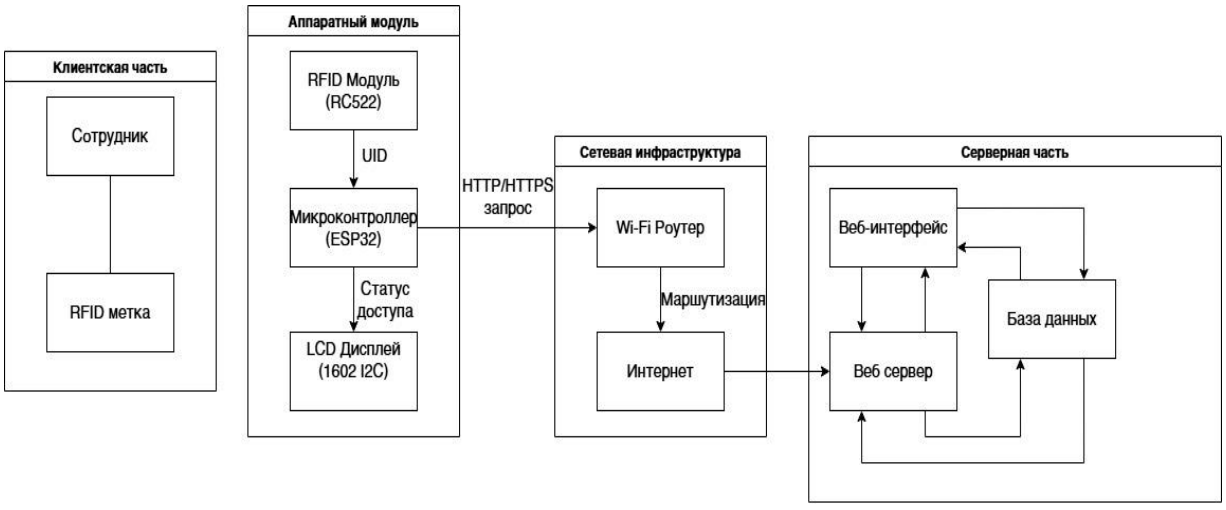


Рисунок 1 – Архитектура взаимодействия аппаратной части и веб-сервера

Данная система была представлена в виде ряда функциональных модулей, характеристики которых приведены в таблице 1:

Таблица 1 – Технические характеристики модулей системы

№ модуля	Наименование	Назначение	Время отклика, мс
Модуль 1	ESP32	Обработка данных и связь	50–100
Модуль 2	RFID RC522	Считывание идентификатора	100–150
Модуль 3	LCD 1602 (I2C)	Визуализация статуса	20–30

Общий алгоритм работы системы контроля доступа можно представить следующим образом (рисунок 2).

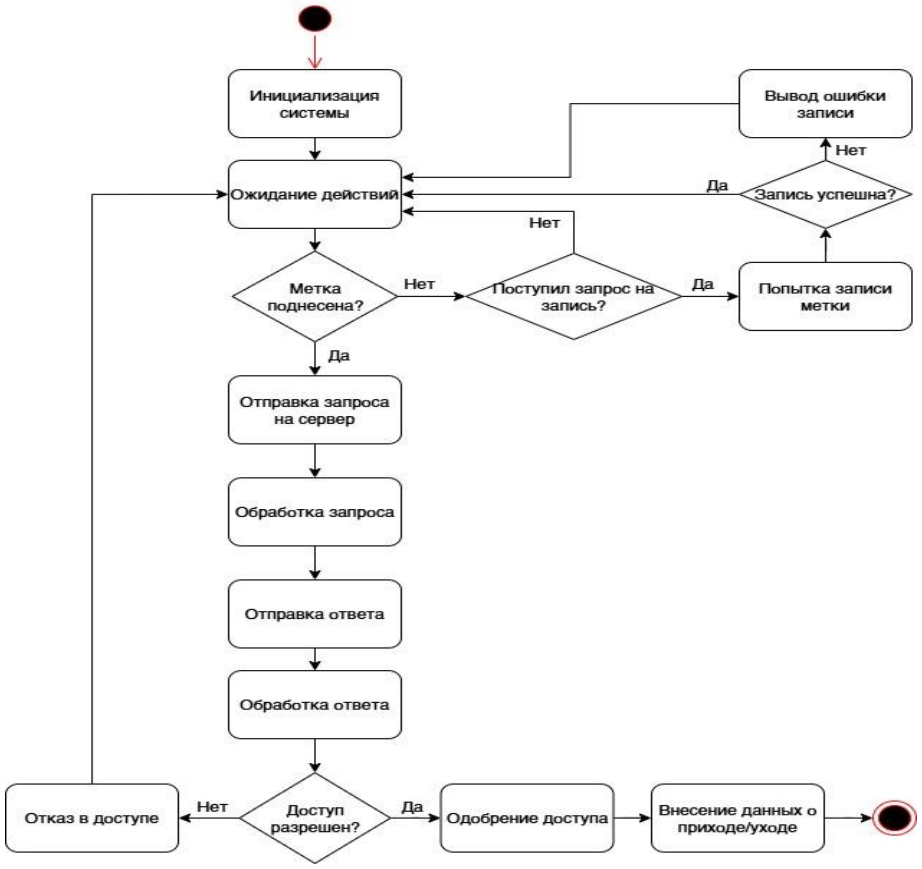


Рисунок 2 – Алгоритм функционального тестирования микроконтроллеров

Контроль доступа осуществлялся путем считывания UID метки и отправки запроса на сервер, сервер начинает проверку наличия метки в базе данных, при наличии такой метки в базе данных, доступ разрешается. После проверки рабочего графика сотрудника, который поднёс метку, производится запись события в базу данных, после чего на LCD-дисплей выводилось сообщение о статусе доступа. Администрация может выслать с панели запрос на запись новой метки для определенного сотрудника, который утратил доступ к своей старой метке, а также для нового сотрудника предприятия.

При опоздании сотрудника на рабочее место, величина отклонения от графика начала работы рассчитывается по формуле 1:

$$\Delta T = T\text{факт} - T\text{план} \times K\text{штраф}, \quad 1)$$

где $T_{факт}$ – фактическое время прихода сотрудника на рабочее место;

$T_{план}$ – плановое время начала рабочей смены согласно графику работы;

$K_{штраф}$ – коэффициент отклонения от графика работы.

Выход из строя или некорректная работа системы контроля и управления доступом в условиях предприятия часто обусловлена нестабильностью сети. Данный модуль системы строится на базе микроконтроллера ESP32, обладающий не только режимами подключения к Wi-Fi, но и режимом точки доступа для локальной настройки при отсутствии связи с ПК [4].

Таким образом, из-за введения веб-интерфейса для управления взысканиями и рабочими графиками на стороне сервера делает данный функциональный блок наиболее удобным для администрирования, чем стандартные автономные контроллеры [5], за счет доступа к веб-интерфейсу с любого устройства в любом месте. Результаты тестирования веб-панели и аппаратной части на скорость отклика и корректность работы показывают эффективность применения данной методики для построения систем учета рабочего времени на промышленных объектах.

Заключение. Выполнен анализ эффективности использования микроконтроллера ESP32 в системах контроля и управления доступом на промышленное предприятие. Установлено, что автоматизация расчета взысканий на основе веб-графиков работы сотрудников упрощает работу отдела кадров на 25–40 %, что, в свою очередь, может привести к уменьшению количества ошибок при начислении заработной платы и упрощает контроль за соблюдением рабочего графика сотрудниками. Изменения в архитектуре системы обусловлены необходимостью централизованного управления доступом на промышленное предприятие, контролем соблюдения рабочего графика сотрудниками.

Предложено использование методики динамического учета рабочего времени при анализе последствий нарушения работы предприятия, вызванных нарушением трудовой дисциплины. Разработана методика определения статуса присутствия на рабочем месте сотрудника, основанная на применении модели с автоматической сверкой планового графика работы и фактического присутствия сотрудника на рабочем месте.

Список литературы

1. *Автоматизация табельного учета на предприятии [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://targcontrol.com/blog/top-programs-for-automatic-timesheet. Дата доступа: 10.02.2026.*

2. *Промышленный интернет вещей: в чем его польза для бизнеса [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.purrweb.com/ru/blog/promyshlenniy-internet-veschey. Дата доступа: 10.02.2026.*

3. *Программирование устройств на основе модуля ESP32 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://habr.com/ru/companies/epam_systems/articles/522730. Дата доступа: 11.02.2026.*

4. *Пишем свой веб-сервер на Python: сокеты [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://iximiuz.com/ru/posts/writing-python-web-server-part-1. Дата доступа: 12.02.2026.*

5. *ТЕХНОЛОГИЯ RFID. СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ДАННЫХ [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://libeldoc.bsuir.by/bitstream/123456789/52744/1/Vasyutich_Tehnologiya.pdf. Дата доступа: 12.02.2026.*

UDC 004.03

CONTROL OF MICROCONTROLLER UNDER THE INFLUENCE OF ELECTROSTATIC DISCHARGE

Prokopenko D.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Tsyavlovskaya N.V. – Master of Technical Sciences, senior lecturer of the department

Annotation. An automated access control system based on the ESP32 microcontroller and RFID technology has been developed. A special feature of the system is integration with a web server to manage work schedules. A method of dynamic accounting of working hours with visualization of the employee's access status and the operation status of the microcontroller on an LCD display is proposed.

Keywords: access control system, RFID, ESP32, accounting automation, web interface

УДК 004.42:331.101.1

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОНЛАЙН-ПЛОЩАДКИ ДЛЯ ЧАСТНЫХ ОБЪЯВЛЕНИЙ И ЕЁ ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Пуренков Е.Ф.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Пархоменко Д.А. – магистр техники и технологии, ст. преподаватель каф. ИПиЭ

Аннотация. В статье рассматривается разработка информационной системы онлайн-площадки для размещения частных объявлений. Система ориентирована на обеспечение удобного размещения, поиска и управления объявлениями в рамках веб-среды. В работе описываются архитектурные решения построения приложения и принципы организации взаимодействия пользователей с системой. Особое внимание уделено эргономическому обеспечению интерфейса, направленному на повышение удобства использования, снижение когнитивной нагрузки и повышение эффективности работы с платформой.

Ключевые слова: информационная система, онлайн-площадка, частные объявления, веб-приложение, пользовательский интерфейс, эргономика.

Введение. В настоящее время интернет-платформы для размещения частных объявлений широко используются для продажи товаров и предоставления услуг. Они позволяют пользователям находить информацию, публиковать предложения и взаимодействовать друг с другом в онлайн-среде. Рост числа подобных систем требует повышения их качества и удобства использования.

При разработке информационных систем важную роль играет архитектура, обеспечивающая стабильную работу и возможность расширения функционала [1]. Существенное значение имеет и эргономика интерфейса, поскольку удобство навигации и расположение элементов влияют на эффективность работы пользователя [2]. Перегруженный интерфейс может затруднять выполнение операций и снижать эффективность использования платформы.

Таким образом, разработка информационной системы онлайн-площадки для частных объявлений с учётом технологических и эргономических требований является актуальной задачей.

Основная часть. Цель работы – проектирование и реализация информационной системы онлайн-площадки для частных объявлений, обеспечивающей функциональность и удобство использования. Объектом исследования является веб-приложение для размещения и поиска объявлений, а предметом – архитектурные и технологические решения его построения, а также методы эргономической оптимизации интерфейса.

Разработка выполняется на основе клиент-серверной архитектуры [3]. Серверная часть реализована на языке программирования Java с использованием фреймворка Spring Boot, обеспечивающего упрощённую конфигурацию и модульную структуру проекта [1].

Пользовательский интерфейс реализован с использованием шаблонизатора Thymeleaf [4]. Хранение данных о пользователях, объявлениях и категориях осуществляется с помощью системы управления базами данных PostgreSQL [5]. Разработка выполняется в среде IntelliJ IDEA [6].

Функциональная структура системы отражена на диаграмме вариантов использования, представленной на рисунке 1. В рамках модели предусмотрено разграничение ролей пользователя и администратора.



Рисунок 1 – Диаграмма вариантов использования

При проектировании интерфейса учитываются положения инженерной психологии, согласно которым рациональное распределение элементов управления, логическая структурированность информации и минимизация избыточных действий способствуют повышению эффективности деятельности оператора системы [2]. Применение данных принципов позволяет обеспечить удобство взаимодействия пользователя с веб-приложением и снизить вероятность ошибок.

Заключение. В результате работы разработана концепция информационной системы онлайн-площадки для частных объявлений, основанная на применении современных технологий веб-разработки и принципов эргономического проектирования. Использование Spring Boot и PostgreSQL обеспечивает надёжность и расширяемость программного решения, а учёт положений инженерной психологии повышает качество пользовательского взаимодействия. Разработанная система может служить основой для дальнейшего развития и расширения функционала.

Список литературы

1. *Walls C. Spring Boot in Action. – Manning Publications, 2016.*
2. *Венда Е.С. Инженерная психология и эргономика. – М.: Изд-во МГУ, 1983.*
3. *Fielding R. Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures. – University of California, Irvine, 2000.*
4. *Thymeleaf Documentation - [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.thymeleaf.org/documentation.html – Дата доступа: 25.02.2026.*
5. *Stonebraker M., Hellerstein J. Readings in Database Systems. – MIT Press, 2005.*
6. *JetBrains. IntelliJ IDEA Documentation - [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.jetbrains.com/idea/documentation – Дата доступа: 25.02.2026.*

UDC 004.42:331.101.1

INFORMATION SYSTEM OF AN ONLINE ADVERTISING PLATFORM AND ITS ERGONOMIC SUPPORT

Purenkov E.F.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Parkhomenko D.A. – Master of Engineering and Technology, Senior Lecturer at the Department of EPE

Annotation. This article examines the development of an information system for an online classifieds platform. The system is designed to facilitate convenient posting, searching, and managing classifieds within a web environment. The paper describes the architectural solutions for building the application and the principles for organizing user interaction with the system. Particular attention is paid to the ergonomics of the interface, aimed at improving ease of use, reducing cognitive load, and enhancing platform efficiency.

Keywords: information system, online platform, private ads, web application, user interface, ergonomics.

УДК 53.06

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ДЕГРАДАЦИИ ЗЕМЕЛЬ В РЕЗУЛЬТАТЕ РЕКРЕАЦИОННОЙ НАГРУЗКИ НА ПРИМЕРЕ ГОРОДСКОГО ПАРКА ИЛИ ЛЕСОПАРКА

Пушистова Е.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Камлач В.И. – ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. В работе рассматриваются особенности проявления рекреационной нагрузки и её влияние на состояние земель на примере парка им. Михаила Павлова в г. Минске. Путём картографирования местности и полевых наблюдений выполнена оценка степени деградации территории. На основе анализа плотности рекреационных потоков и визуального состояния растительного покрова выделены зоны высокой, средней и слабой рекреационной нагрузки.

Ключевые слова: рекреационная нагрузка, деградация земель, тропиночная сеть, антропогенное воздействие, картографирование, рекультивация

Введение. С развитием урбанизации городские парки и лесопарки приобретают всё более важное значение как пространства отдыха и элементы экологической инфраструктуры. Одновременно возрастает интенсивность рекреационного использования, что приводит к уплотнению почв, разрушению травяного покрова, снижению биологической активности почв и формированию неформальной тропиночной сети. Подобные эффекты отмечены в ряде исследований, посвящённых оценке рекреационного воздействия на почвенно-растительные комплексы городских территорий [1, 3, 5]. Цель данного исследования заключается в анализе структуры рекреационной нагрузки в городском парке, определении уязвимых зон деградации земель и разработке рекомендаций по снижению негативного антропогенного воздействия. В методологическую основу включены полевые наблюдения, картографирование троп, оценка состояния растительности и анализ плотности рекреационных потоков, что соответствует подходам, описанным в современных работах по рекреационной экологии [1, 4].

Основная часть. На территории парка выявлены особенности распределения рекреационной нагрузки, формируемые системой официальных и неформальных троп. Результаты картографирования представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Картографическая основа исследования

Официальные бетонные дорожки образуют каркас организованного движения посетителей. Их наибольшая концентрация наблюдается в северо-восточной части парка. По

аналогии с результатами исследований городских парков Москвы, вдоль дорожек фиксируются участки локального вытаптывания, возникающего из-за сходов посетителей на обочины [3].

Неформальные грунтовые тропы образуют плотную сеть, особенно вдоль водоёма и между основными маршрутами. Их возникновение является характерным индикатором повышенной рекреационной нагрузки и недостаточной организации потоков, что отмечено также в исследованиях по оценке тропиночной сети в природных территориях [1, 4].

Укреплённая гравийная тропа призвана регулировать движение посетителей, однако наличие параллельных «обходных» маршрутов демонстрирует её перегруженность. Аналогичные явления описаны в исследованиях лесных рекреационных экосистем, где недостаточная пропускная способность троп приводит к образованию дополнительных путей и разрастанию зон вытаптывания [2].

Береговая зона является наиболее уязвимой частью парка. Параллельные тропы, идущие вдоль водоёма, свидетельствуют о высокой рекреационной нагрузке. Подобное воздействие на прибрежные лесные территории и снижение устойчивости растительного покрова отмечены в работах по рекреационному воздействию на лесные экосистемы [2].

На основе полевых наблюдений выделены три категории рекреационной нагрузки. Методика зонирования территории парка основывалась на комплексной оценке уплотнения почвы, состояния растительного покрова и плотности неофициальной тропиночной сети. На рисунке 2 представлена схема зонирования территории парка им. Михаила Павлова.

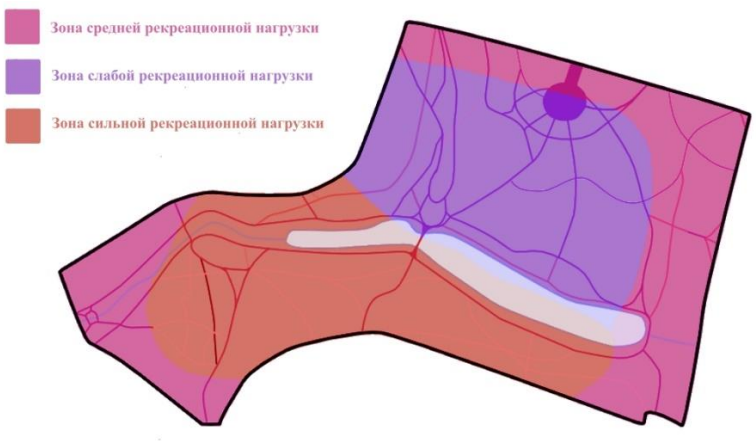


Рисунок 2 – Зонирование местности парка

Такой подход соответствует принципам рекреационно-экологического анализа, описанным в учебном пособии по рекреационной географии [1], где подчёркивается необходимость учитывать фактическое воздействие посетителей на природные компоненты. Подобные процессы уплотнения почвы и разрушения дернины подробно описаны в исследованиях городских троп [1] и лесных рекреационных территорий [2]. Уплотнение почвы и степень её оголения рассматривались как одни из ключевых индикаторов нагрузки, что согласуется с результатами исследований состояния почвенных покровов рекреационных лесных территорий [2]. Особое внимание уделялось плотности неофициальных троп, так как их наличие отражает реальные направления движения посетителей и скрытые очаги антропогенного воздействия, не фиксируемые в официальной инфраструктуре.

Зона сильной рекреационной нагрузки характеризуется высокой плотностью троп, оголением почвы, уплотнением грунта и выраженным разрушением травяного покрова. В отдельных местах наблюдаются эрозионные микроповреждения. К зоне относятся береговая линия и узлы рекреационной активности.

Зона средней рекреационной нагрузки расположена вблизи входных групп и на открытых полянах. Характерные признаки: локальные очаги вытаптывания, частичное разрежение травостоя и сезонные колебания нагрузки. Растительность сохраняет относительную устойчивость, однако чувствительна к увеличению потока посетителей. Аналогичные

наблюдения приводятся в работах по оценке рекреационного воздействия в городских парках [3].

Зона слабой рекреационной нагрузки охватывает удалённые части парка с минимальной плотностью диких троп и низкой посещаемостью, а также местность с высокой плотность официальных бетонных дорожек. Отличается сохранным подлеском, отсутствием уплотнения почвы и высокой природоохранной значимостью. Такие территории, согласно экологическим исследованиям, обладают потенциалом для восстановления нарушенных участков [5].

Заключение. Для снижения антропогенного воздействия необходимо упорядочить движение посетителей путём установки указателей, информационных стендов и создания альтернативных официальных маршрутов, что соответствует современным подходам к управлению рекреационными нагрузками [4]. Укрепление основных троп (подсыпка щебня, устройство настилов, ограничение разрастания троп бордюрами) позволяет уменьшить разрушение растительности и снизить риск формирования новых «диких» маршрутов [1]. Рекультивация нарушенных территорий должна включать посев местных видов трав и временное ограничение посещения зон высокой деградации, что подтверждается исследованиями биологической активности почв в условиях рекреационного воздействия [5]. Экопросвещение может также сыграть важную роль: информирование посетителей о необходимости бережного отношения к природной среде позволит уменьшить неорганизованную рекреацию и поспособствует восстановлению природных комплексов.

Список литературы

1. *Рекреационная география: учебное пособие [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://press.psu.ru/index.php/geogr/article/view/219. Дата доступа: 01.12.2025.*

2. *Влияние рекреации на состояние почвенного покрова лесных территорий Черноморского побережья России [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://les-vest.mf.bmstu.ru/les_vest/2019/6_2019/51-59.pdf. Дата доступа: 01.12.2025.*

3. *Почвы и растительность парково-рекреационных ландшафтов Москвы: автореферат диссертации [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.dissercat.com/content/pochvy-i-rastitelnost-parkovo-rekreatsionnykh-landshaftov-moskvy. Дата доступа: 01.12.2025.*

4. *Опыт оценки и мониторинга рекреационного воздействия на лесные экосистемы [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://xn--80abmehbaibgnewcmzjeef0c.xn--p1ai/upload/iblock/015/015a4d89e8b7e82af2bf32d4d7e3f5c5.pdf. Дата доступа: 01.12.2025.*

5. *Влияние рекреационной нагрузки на биологическую активность почв городского парка [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://panor.ru/articles/vliyanie-rekreatsionnoy-nagruzki-na-biologicheskuyu-aktivnost-pochv-gorodskogo-parka/107094.html. Дата доступа: 01.12.2025.*

UDC 53.06

CARTOGRAPHING AND ASSESSING THE DEGREE OF LAND DEGRADATION AS A RESULT OF RECREATIONAL LOADS ON THE EXAMPLE OF A CITY PARK OR A FOREST PARK

Pushistova E.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Kamlach V.I. – senior lecturer, Department of Engineering Psychology and Ergonomics

Annotation. The paper examines the features of the manifestation of recreational stress and its impact on the state of the land on the example of the park. Mikhail Pavlov in Minsk. The degree of degradation of the territory was assessed by mapping the area and field observations. Based on the analysis of the density of recreational flows and the visual condition of vegetation cover, zones of high, medium and low recreational load have been identified.

Keywords: recreational load, land degradation, path network, anthropogenic impact

УДК 631.544

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА В ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕПЛИЦАХ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ВЕГЕТАЦИИ

Семенько Е.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Хлудеев И.И., – к.б.н., доцент, доцент кафедры ИПиЭ

Аннотация. Разработанная система представляет собой автономное устройство на базе микроконтроллерной платформы Arduino Uno, оснащенное датчиками температуры и влажности воздуха, влажности почвы и влагозащищенного датчика температуры почвы. Система осуществляет сбор и хранение данных с датчиков с записью на SD-накопитель для локального хранения.

Ключевые слова. Микроклимат теплицы, промышленная теплица, аппаратно-программный модуль, мониторинг параметров, Arduino Uno, температура и влажность воздуха, влажность почвы.

Введение. В условиях промышленного тепличного производства обеспечение стабильных параметров микроклимата является одним из определяющих факторов получения высокой урожайности и качества сельскохозяйственной продукции. К числу основных контролируемых параметров относятся температура и влажность воздуха, а также температура и влажность почвы. Отклонение данных показателей от оптимальных значений приводит к замедлению процессов вегетации, развитию заболеваний растений и снижению экономической эффективности производства.

Рост количества промышленных теплиц показывает необходимость применения автоматизированных систем сбора данных и последующего контроля теплицы, за счет непрерывного сбора и анализа информации.

***Основная часть*.** Целью работы является разработка аппаратно-программного модуля мониторинга параметров микроклимата в промышленных теплицах. Разработанный аппаратно-программный модуль работает на базе микроконтроллера Arduino Uno, который характеризуется достаточной вычислительной мощностью, наличием встроенных интерфейсов ввода-вывода и возможностью подключения внешних периферийных устройств.

Снятие параметров микроконтроллером осуществляется со следующих датчиков (представлены на рисунке 1):

– влагозащищённый датчик температуры почвы [1];
– датчик влажности почвы;
– датчик температуры и влажности воздуха [2].



Рисунок 1 – Датчики используемые в проекте

Температурный и влажностный мониторинг воздушной среды теплицы позволяет оценить её текущее состояние. Измерение влажности почвы обеспечивает анализ режима орошения. Мониторинг температуры почвы позволяет обеспечить оптимальные условия для роста и развития корневой системы, улучшить интенсивность процессов вегетации, а также улучшает контроль температурного режима и режима полива в теплице.

Функционирование модуля происходит в циклическом режиме. Микроконтроллер осуществляет опрос датчиков с заданной регулярностью, выполняет первичную обработку измеренных данных и формирует данные для последующего хранения или передачи.

На данном этапе разработки модуля информация записывается на SD-карту для локального хранения и для дальнейшей ее обработки оператором с целью анализа влияния параметров культивации на урожайность. На следующем этапе разработки планируется доработка передачи данных на удалённый сервер через сетевые интерфейсы. Это даст возможность быстрой обработки данных с помощью специальной программы, которая не только упростит мониторинг, но и позволит оперативно выдавать команды на исполнительные устройства, ответственные за полив и соблюдение температурного режима почвы и воздуха.

Конструкция модуля обеспечивает его эксплуатацию в условиях повышенной влажности и температурных колебаний, характерных для тепличных комплексов. Его влагозащита также является одним из главных преимуществ в сравнении с аналогами, представленными на данный момент.

Улучшенная версия аппаратно-программного модуля будет включать серверную обработку данных, их анализ и вывод диаграмм и изменений в реальном времени. Также в улучшенном аппаратно-программном модуле будут добавлены дополнительные датчики с возможностью калибровки и настройки в реальном времени. А также увеличится количество подключаемых датчиков и возможность синхронизировать и объединить несколько плат для более тщательного процесса обработки данных.

Заключение. Полученное решение обеспечивает непрерывный контроль параметров среды и формирование информационной базы для принятия технологических решений. Использование микроконтроллерной платформы Arduino Uno обеспечивает гибкость конфигурирования и возможность дальнейшей модернизации устройства. Практическая значимость работы заключается в возможности применения разработанного модуля в тепличных хозяйствах и тепличной промышленности с целью повышения эффективности производства и создания последующей автоматизации процессов управления микроклиматом и процессами управления теплицей.

Список литературы

1. *Хофман, Д. Освоение Arduino: проектный подход к электронике, схемам и программированию / Д. Хофман – СИ, 2018. – 306с.*

2. *Подключение датчика DHT11 или DHT22 к Ардуино [Электронный ресурс]. – Режим доступаhttps://arduinomaster.ru/datchiki-arduino/datchiki-temperatury-i-vlazhnosti-dht11-dht22/. – Дата доступа: 02.03.2026.*

UDC 634.544

HARDWARE-AND-SOFTWARE MODULE FOR MONITORING MICROCLIMATE PARAMETERS IN INDUSTRIAL GREENHOUSES TO ENSURE OPTIMAL GROWING CONDITIONS.

Semianko Y.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Khludeyev I. I. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of EPE

Annotation. The developed system is an autonomous device based on the Arduino Uno microcontroller platform, equipped with sensors for air temperature and humidity, soil moisture, and a waterproof soil temperature sensor. The system collects and stores sensor data, writing it to an SD card for local storage.

Keywords: Greenhouse microclimate, industrial greenhouse, hardware-and-software module, parameter

УДК 316.7:178.7

ДИНАМИКА РАСПРОСТРАНЕННОСТИ КУРЕНИЯ СРЕДИ СТУДЕНЧЕСКОЙ МОЛОДЕЖИ

Шпак М.Е., Гладкевич А.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Ломонос О.Л. – к.с.-х.н., доцент кафедры ИПиЭ

Аннотация. В статье представлены результаты исследований табачной зависимости среди студенческой молодежи. Проведенное анкетирование выявило, что 25,6% респондентов являются действующими потребителями табака, при этом 78% из них используют вейпы, 46,3% – обычные сигареты. Основными мотивами курения выступают снятие стресса (65,9%) и влияние окружения (39%), тогда как факторами отказа – финансовые затраты и пример близких (по 41,2%). Результаты обосновывают необходимость усиления профилактики с учетом поведенческих особенностей молодежи.

Ключевые слова: студенческая молодежь, курение, никотинсодержащая продукция, динамика распространенности, профилактика.

Введение. Курение – одна из самых опасных и губительных привычек, вызывающая сильную физическую и психологическую зависимость, которая формируется под влиянием социальных норм, маркетинга, доступности и окружения. Начинается она зачастую в подростковом возрасте, когда осознание рисков минимально. Длительное курение, начатое в раннем возрасте, сокращает ожидаемую продолжительность жизни на 20–25 лет [1]. Никотин стимулирует выработку дофамина и серотонина, создавая временное чувство удовольствия и расслабления, вместе с тем вызывая быстрое привыкание и оказывая токсическое воздействие, являясь установленной причиной развития минимум 25 заболеваний (сердечно-сосудистые, онкологические и др.) [2].

Проблема курения носит системный характер, а ее решение требует научно обоснованного подхода, основанного на объективном анализе национальных данных.

Основная часть. Глобальный анализ показывает снижение смертности с ~25 млн случаев в 2000 г. до ~19–20 млн в 2024 г., однако с 2020 г. динамика замедлилась из-за старения населения и высокой распространенности курения в странах с низким доходом [3, 4]. В Беларуси ежедневно регистрируется 300 смертей, из которых 14% (около 40 человек) связаны с курением [5]. Представленные данные актуализируют необходимость усиления профилактики и регулирования никотиносодержащих продуктов.

Динамика распространенности курения среди взрослого населения Республики Беларусь в гендерном разрезе представлена на рисунке 1.

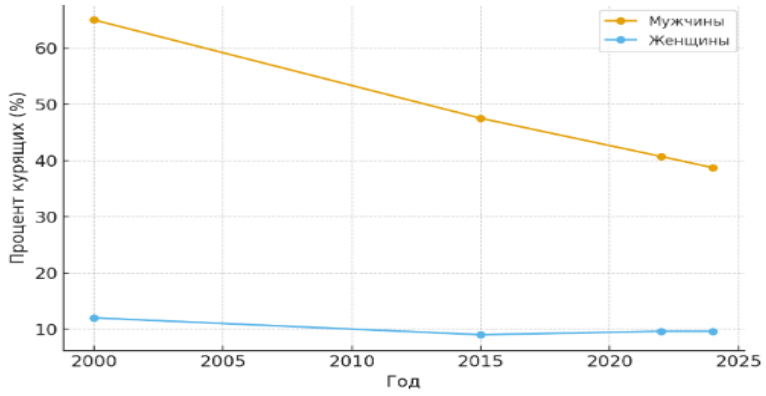


Рисунок 1 – Динамика распространенности курения среди взрослого населения Республики Беларусь по полу

В Беларуси наблюдается устойчивое снижение распространенности курения, однако динамика различается по полу: среди мужчин показатель снизился с ~65% в 2000 г. до менее

40% в 2024 г., в то время как среди женщин стабилизировался на уровне 9–10%. Сохраняющийся гендерный разрыв подтверждает необходимость дифференцированных профилактических подходов [6].

Для углубленного анализа распространенности курения среди населения республики проведено анкетирование студентов возраста 17–21 год (n=160), которое определяет поведенческие паттерны, мотивацию и опыт молодежи. Распределение респондентов по отношению к курению представлено на рисунке 2.



Рисунок 2 – Диаграмма, отражающая отношение к курению студенческой молодёжи

Результаты анкетирования позволяют выделить три группы студентов: действующие потребители табака (25,6%), лица, отказавшиеся от курения (10,6%) и никогда не курившие (36,9%). Структура потребления никотиносодержащей продукции среди курящих представлена на рисунке 3.



Рисунок 3 – Диаграмма, отражающая предпочтения респондентов

В окружении курящих респондентов преобладают пользователи вейпов (78%), тогда как обычные сигареты курят 46,3%. Это отражает глобальный тренд роста популярности альтернативных никотиновых устройств среди молодежи, воспринимаемых как менее вредные. По оценке международных организаций, долгосрочные риски для здоровья от употребления таких продуктов остаются значительными, а их роль как «входных ворот» в никотиновую зависимость требует дополнительного изучения [3, 4]. Опыт попыток отказа от курения представлен на рисунке 4.

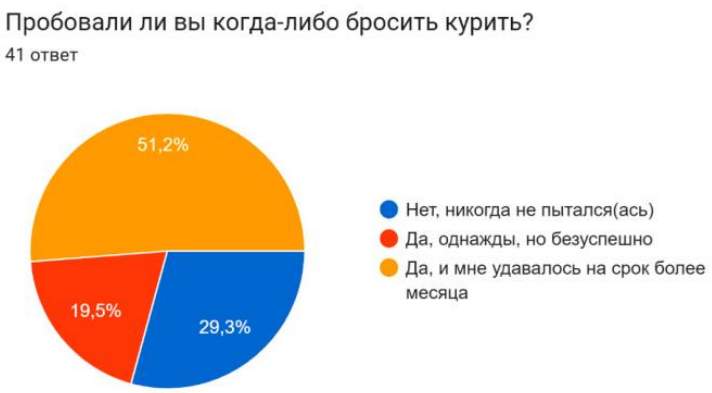


Рисунок 4 – Диаграмма, отражающая результат опроса об опыте отказа от курения

Анализ показал, что более половины курящих (51,2%) никогда не пытались бросить, 29,3% имели неудачный опыт, лишь 19,5% удержались более месяца, что указывает на низкую мотивацию к отказу. Среди бросивших основными мотивами стали финансовые затраты, пример близких и информация о вреде и ухудшение здоровья. Большинство недавно бросивших (>6 месяцев) не ощущают явных улучшений самочувствия, что важно учитывать в мотивационных программах. Факторы, препятствующие курению: отсутствие интереса, сенсорное неприятие, страх зависимости, приверженность ЗОЖ и пример семьи.

Заключение. Анкетирование студентов показало, что 25,6% являются курящими, при этом среди них преобладают пользователи вейпов (78%), обычные сигареты курят 46,3%. Более половины курящих (51,2%) никогда не пытались бросить курить, 29,3% имели неудачный опыт. Среди бросивших (10,6%) ключевыми стимулами стали финансовые затраты и пример близких (41,2%).

Список литературы

1. *Влияние курения на здоровье и внешность. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://goo.su/eoMj*
2. *Риск для здоровья в результате курения и польза отказа от курения. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://www.medkirov.ru/site/lsp546aef*
3. *Глобальное состояние снижение вреда табака. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://goo.su/4EPW6vy*
4. *Глобальное бремя болезней. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://www.healthdata.org/research-analysis/gbd*
5. *В Беларуси ежедневно около 40 человек умирают от болезней, связанных с курением. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://clck.ru/3SFCoc*
6. *Интерактивная информационно-аналитическая система распространения официальной статистической информации. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://dataportal.belstat.gov.by/osids/indicator-info/10104000073?viewType=TABLE*

UDC 316.7:178.7

DYNAMICS OF SMOKING PREVALENCE AMONG STUDENTS

Shpak M.E., Gladkevich A.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Lomonos O.L. – Cand. of Agricultural Sci., associate professor of the Department of Engineering Psychology and Ergonomics

Annotation. The article presents the results of a study on tobacco addiction among students. The survey revealed that 25.6% of respondents are current tobacco users, with 78% of them using vapes and 46.3% smoking conventional cigarettes. The main motives for smoking are stress relief (65.9%) and social influence (39%), while the factors for quitting are financial costs and the example of close people (41.2% each). The results substantiate the need to strengthen preventive measures taking into account the behavioral characteristics of young people.

Keywords: students, smoking, nicotine-containing products, prevalence dynamics, prevention.

УДК 625.7:504.05:004.85

ОЦЕНКА ЖИЗНЕННОГО СОСТОЯНИЯ ДРЕВЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ ВДОЛЬ АВТОМАГИСТРАЛЕЙ Г. МИНСКА МЕТОДОМ ВИЗУАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Шумилов А. А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Камлач В.И. – магистр технических наук, ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. В данной статье проводится комплексное исследование жизненного состояния древесных насаждений вдоль автомагистралей г. Минска методом визуального анализа с последующим использованием моделей машинного обучения для прогнозирования состояния деревьев.

Ключевые слова: визуальная оценка, автомагистрали, придорожные насаждения, Минск, автомобильное загрязнение, транспортная нагрузка, удаленность от проезжей части, густота кроны, сухость ветвей, повреждение ствола, признаки заболеваний, машинное обучение, прогнозирование состояния деревьев.

Введение. В условиях нарастающего антропогенного воздействия транспортной инфраструктуры на городские экосистемы особую значимость приобретает оценка жизненного состояния древесных насаждений вдоль автомагистралей крупных городов. В рамках данной работы оценка отдельных экземпляров выполняется по ряду визуальных признаков: вид дерева, густота кроны, степень усыхания ветвей, поврежденность ствола, наличие визуальных признаков болезней, а также удаленность от проезжей части. На основе полевых исследований и последующей аналитической обработки данных создается модель машинного обучения для предсказания категории жизненного состояния дерева в зависимости от совокупности указанных факторов. Полученные выводы могут быть использованы при планировании и модернизации городской зеленой инфраструктуры в Минске и других городах с высокой транспортной нагрузкой. Применение алгоритмов машинного обучения позволяет автоматизировать процесс обработки больших массивов данных, а также выявить скрытые нелинейные зависимости между совокупностью визуальных признаков и итоговым жизненным состоянием древесных насаждений.

Основная часть. Ключевым фактором, влияющим на жизненное состояние древесных насаждений в условиях городской застройки, было выбрано расстояние до транспортных магистралей. Для подтверждения степени воздействия этого фактора в рамках данной работы проводилась визуальная оценка жизненного состояния деревьев в соотношении с результатами измерений расстояния до проезжей части. При этом оценка насаждений осуществлялась путем их классификации по четырем категориям: здоровое, ослабленное, усыхающее и больное.

Диаграмма на рисунке 1 показывает, что разброс полученных значений для здоровых и ослабленных деревьев больше, чем для больных и усыхающих. Это указывает на выраженное негативное воздействие транспортного потока, при котором наибольший стресс испытывают деревья, расположенные ближе к источнику загрязнения. Полученные данные подтверждают, что группы больных и усыхающих деревьев сосредоточены в наименее удаленной от проезжей части зоне, тогда как здоровые и часть ослабленных смещены дальше от источника загрязнения, что делает расстояние одним из ключевых факторов виталитета деревьев в условиях городской застройки.

Подобные пространственные закономерности активно используются при проектировании древесных насаждений вдоль автомагистралей [1].

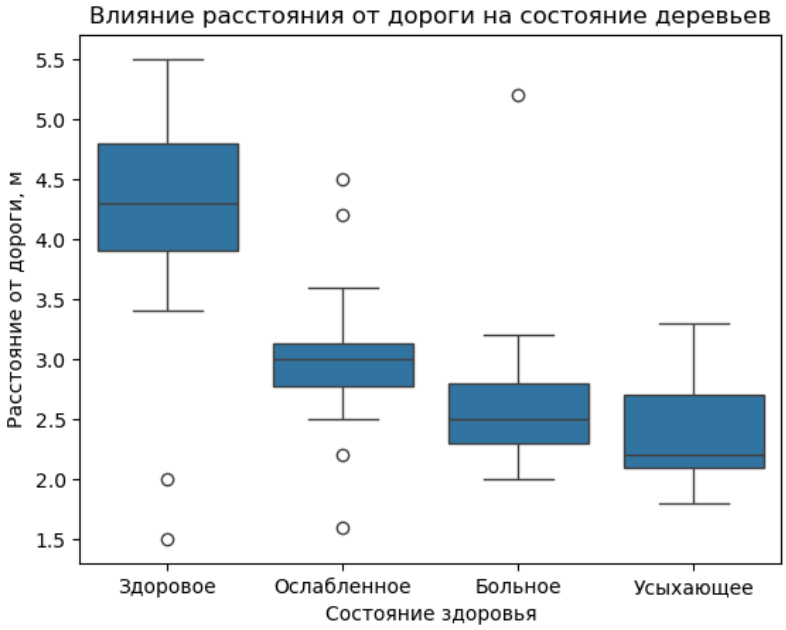


Рисунок 1 – Зависимость здоровья дерева от расстояния от дороги.

При визуальном анализе древесных насаждений проводилась их оценка на основе следующих факторов:

– густота кроны (густая, слегка изреженная, изреженная, сильно изреженная);
– степень усыхания ветвей (нет, слабая, средняя, сильная);
– поврежденность ствола (нет, средняя, сильная);
– наличие признаков заболеваний (нет, есть);
– видовая принадлежность;
– расстояние от проезжей части;
– состояние здоровья (здоровое, ослабленное, больное, усыхающее).

На основе полученных при анализе данных при помощи библиотеки mord для порядковой классификации была построена модель порядковой классификации, которая автоматически относит каждое дерево к одной из четырех категорий жизненного состояния. Выбор данного метода обусловлен тем, что категории жизненного состояния деревьев представляют собой ранжированную последовательность, где разница между здоровыми и ослабленными деревьями иная, чем между здоровыми и усыхающими. В отличие от стандартной многоклассовой классификации, библиотека mord учитывает этот порядок, что минимизирует риск грубых ошибок предсказания.

Всего для обучения и проверки модели было использовано 80 точек данных, разделенных на обучающую и тестовую выборки в соотношении 80/20 %. Проверка работы модели на тестовой выборке показало абсолютное значение расхождения, равное ~0.3 категории, что свидетельствует о достаточной точности для применения в прикладных задачах экологического мониторинга. На рисунке 2 можно заметить, что большинство ошибок приходилось на соседние классы жизненного состояния, что не несет критических рисков для стратегического планирования, поскольку рекомендации по уходу для соседних классов часто совпадают. Поэтому модель может надежно применяться для выделения групп повышенного риска (больные и усыхающие деревья).

Разработанная модель автоматизирует оценку жизненного состояния насаждений, обеспечивая унификацию данных и существенно сокращая трудозатраты на экспертный мониторинг. Способность модели с высокой точностью идентифицировать деревья в критическом состоянии позволяет городским службам оперативно планировать мероприятия по санитарной рубке и реконструкции придорожных ландшафтов.

	Прогноз	Метка
0	Усыхающее	Усыхающее
1	Здоровое	Ослабленное
2	Здоровое	Здоровое
3	Больное	Усыхающее
4	Ослабленное	Ослабленное
5	Здоровое	Здоровое
6	Здоровое	Здоровое
7	Ослабленное	Здоровое
8	Больное	Больное
9	Усыхающее	Больное
10	Усыхающее	Усыхающее
11	Ослабленное	Ослабленное
12	Больное	Ослабленное
13	Здоровое	Здоровое
14	Больное	Больное
15	Здоровое	Здоровое

Рисунок 2 – Результат работы модели машинного обучения.

Заключение. Проведенное исследование показало, что жизненное состояние древесных насаждений вдоль автомагистралей г. Минска существенно зависит от их удаленности от проезжей части. Установлено, что группы здоровых и умеренно ослабленных экземпляров концентрируются в более удаленных от проезжей части зонах, в то время как больные и усыхающие деревья преимущественно находятся в непосредственной близости к автомагистралям. Это подтверждает сильное влияние транспортных потоков на придорожные экосистемы.

Созданная на основе полевых наблюдений модель машинного обучения продемонстрировала удовлетворительную точность отнесения деревьев к четырём категориям жизненного состояния. Это позволяет рассматривать ее как практический инструмент для предварительного выделения участков с повышенной долей больных и усыхающих деревьев, планирования мероприятий по уходу, реконструкции придорожных насаждений.

Список литературы

1. Судник, А. В. О воздействии строительства и содержания автодорог на придорожную растительность [Электронный ресурс] / А. В. Судник, И. П. Вознячук // Наука и инновации. – 2021. – № 11 (225). – С. 34–41. – Режим доступа: https://innosfera.belnauka.by/jour/article/viewFile/343/331 – Дата обращения: 09.12.2025.

UDC 625.7:504.05:004.85

ASSESSMENT OF THE VITAL STATE OF TREE PLANTINGS ALONG THE HIGHWAYS OF MINSK USING THE VISUAL ANALYSIS METHOD

Shumilov A.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Kamlach V.I. – Master of Sci. (M. of Sci.)*, Senior Lecturer at the Department of Engineering Psychology and Ergonomics*

Annotation. This article presents a comprehensive study of tree populations along highways in Minsk. A visual analysis method is used, followed by the use of machine learning models to predict tree health.

Keywords: Visual assessment, highways, roadside plantings, Minsk, vehicle pollution, traffic load, distance from the roadway, crown density, branch dryness, trunk damage, signs of disease, machine learning, tree condition forecasting.

УДК 004.946 – 37.048.4

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ СРЕДЫ В VR ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ НАВЫКОВ УЧАЩИХСЯ

Страчинский Я.С., Ошкин С.Е.

Национальный детский технопарк, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Ильясова М. С. - магистр, ассистент кафедры ИПиЭ

Аннотация. Статья посвящена созданию VR-симулятора профессий на базе движка Unity. Работа описывает архитектуру навигационного хаба, интеграцию ИИ для моделирования коммуникативных сценариев и реализацию физически достоверных производственных процессов (сварка, кладка, сборка ПК). Разработанный инструмент направлен на повышение эффективности профориентации и практической подготовки студентов в безопасной интерактивной среде.

Ключевые слова: симулятор, VR, Unity, профориентация, искусственный интеллект, интерактивное обучение

Введение. Виртуальная реальность (VR) представляет собой эффективный инструмент обучения, позволяющий отрабатывать навыки в безопасной цифровой среде. Технология исключает риски для здоровья обучающихся и порчу дорогостоящего оборудования, что значительно удешевляет образовательный процесс по сравнению с закупкой реальных станков и расходных материалов.

Ключевое преимущество VR перед традиционными формами обучения (видеолекциями, учебниками) заключается в эффекте погружения. Пользователь совершает действия самостоятельно, задействуя мышечную память, тем самым повышая уровень усвоения материала до 70–90% [1]. Один VR-шлем позволяет симулировать десятки сценариев, превращая пассивное наблюдение в активную практику и обеспечивая качественную профориентацию.

Основная часть. Разработанный проект виртуального симулятора профессий представляет из себя интерактивную образовательная среду, погружающую пользователя в реалистичные рабочие условия. Симулятор рассчитан на школьников и студентов для инновационного дополнения к теоретическим знаниям, профориентации и получения первого практического опыта.

В проекте реализованы профессии: терапевта (общение с пациентами), сварщика (соединение деталей при помощи сварки), строителя (укладка стен из кирпичей), компьютерного мастера (сборка и починка ПК).

Перед началом разработки был проведен сравнительный анализ существующих решений, таких как Job Simulator и Surgeon Simulator. Несмотря на их популярность, данные проекты обладают рядом критических недостатков для образовательного процесса:

– игровой уклон: ориентация на развлекательный контент в ущерб достоверности рабочих процессов;

– специфическое управление: в Surgeon Simulator намеренно реализована сложная и нереалистичная физика рук, что неприемлемо для формирования правильных профессиональных паттернов;

– монопрофильность: большинство аналогов ограничиваются одной узкой специальностью.

В отличии от аналогов созданный проект представляет многофункциональный тренажер, объединяющий несколько профессий в едином интерфейсе с максимальным уровнем реализма механик и физического взаимодействия.

Для создания проекта были выбраны следующие инструменты разработки: игровой движок Unity, среда 3D-моделирования Blender, среда разработки Visual Studio и язык программирования C#.

Вход в систему осуществляется через главную локацию, которая служит навигационным хабом. Здесь пользователю предоставляется интерактивная инструкция по эксплуатации

приложения и каталог доступных профессий с их краткими характеристиками. Архитектура приложения позволяет пользователю самостоятельно выбирать интересующее направление для прохождения практического модуля.

Особое внимание в работе уделено сценарию «Терапевт», в основе которого лежит симуляция диагностического интервью. Объекты окружения и медицинский инвентарь были спроектированы в среде Blender. Для создания антропоморфных моделей пациентов использовалось специализированное ПО MakeHuman, позволяющее генерировать детализированные модели персонажей с высокой степенью анатомической точности [2].

С целью реализации вариативности диалогов в проект был внедрен модуль искусственного интеллекта на базе платформы Neocortex Link. Данное решение позволило отойти от жестких скриптовых сценариев в пользу динамического взаимодействия. Ключевыми особенностями платформы являются поддержка голосового управления и возможность формирования контекстных ответов NPC (неигровых персонажей) [3].

Интеграция системы Neocortex в среду разработки Unity была осуществлена посредством менеджера пакетов (Package Manager). Это обеспечило стабильную связь между игровым движком и внешними алгоритмами обработки естественного языка.

Результат настройки иерархии персонажей и итогового тестирования коммуникативного сценария представлен на рисунке 1.

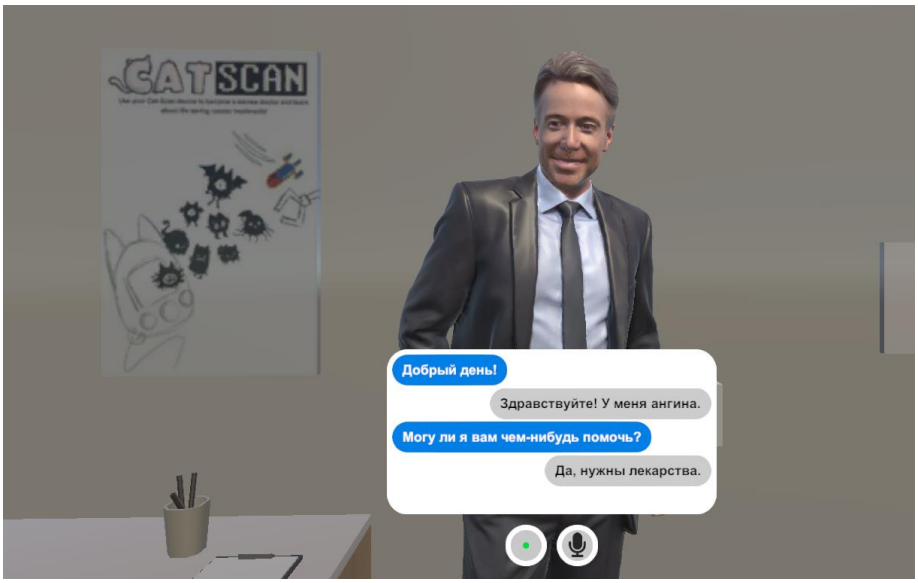


Рисунок 1 – Разговор с пациентом

В рамках симуляции сварочных работ была разработана система формирования соединительного шва, базирующаяся на физическом взаимодействии объектов. Техническая логика процесса инкапсулирована в скрипте SvarkaSpawner.cs и реализуется по следующему алгоритму:

1 Детектирование условий сварки: процесс активируется при одновременном вхождении наконечника инструмента в триггерные зоны обеих деталей.

2 Динамическая генерация геометрии: по траектории движения инструмента в реальном времени создаются сегменты динамического меша.

3 Визуализация процесса: непрерывное построение геометрии делает результат зависимым от скорости движения руки пользователя, что повышает достоверность симуляции.

Следующим этапом была реализации профессии строителя. Основной задачей модуля является возведение кирпичной кладки. Программная логика процесса реализована с помощью системы скриптов, ключевым из которых является BrickPlaceController.cs. Данный компонент управляет системой визуальных подсказок и фиксацией объектов:

1 Механика подсказок: использование массива координат для генерации полупрозрачных моделей-фантомов на местах укладки.

2 Иерархия событий: блокировка компонента захвата (Grabbable) после задержки в целевой зоне, переводящая кирпич в статичное состояние.

3 Итеративность: автоматическая активация следующего маркера из массива при успешной установке текущего блока.

В модуле «Компьютерный мастер» реализована система адаптивных UI-подсказок на базе скрипта TriggerAnimationController.cs. Он обеспечивает динамическое масштабирование элементов при приближении пользователя и их скрытие при удалении для минимизации визуального шума. Использование компонента Look At Constraint гарантирует фронтальную ориентацию интерфейса относительно камеры, что сохраняет читаемость текста под любым углом обзора. Централизованная архитектура управления упрощает масштабирование логики обучения в рамках проекта.

Практическая ценность проекта заключается в его масштабируемости и универсальности. Централизованная архитектура управления подсказками и модульная структура профессий позволяют адаптировать комплекс под различные образовательные задачи – от базовой профориентации школьников до ускоренной подготовки студентов технических специальностей. Внедрение подобных решений в учебный процесс минимизирует затраты на расходные материалы и исключает риски травматизма, предоставляя дополнение к теоретической базе.

Заключение. В результате работы разработан многофункциональный VR-симулятор, обеспечивающий реалистичную среду для профориентации и получения первого практического опыта. Использование игрового движка Unity в связке с искусственным интеллектом Neocortex позволило реализовать как сложные физические процессы, так и нелинейные коммуникативные сценарии. Проект связывает теорию с практикой, предоставляя безопасный и экономически выгодный инструмент обучения. Его модульная архитектура открывает возможности для дальнейшего расширения перечня доступных специальностей и внедрения систем оценки навыков.

Список литературы

1. *What does virtual reality and the metaverse mean for training? [Electronic resource] : PwC. (2020). – Mode of access: https://www.pwc.com/us/en/tech-effect/emerging-tech/virtual-reality-study.html. – Date of access: 20.02.2026.*

2. *MakeHuman Community [Electronic resource] : Exporting characters for Game Engines. (2026). – Mode of access: https://static.makehumancommunity.org/. – Date of access: 20.02.2026.*

3. *Руководство Neocortex link [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.neocortex.link. – Дата доступа: 20.02.2026.*

UDC 004.946 – 37.048.4

MODELING A PROFESSIONAL ENVIRONMENT IN VR FOR THE DEVELOPMENT OF STUDENTS' PRACTICAL SKILLS

Strachinsky Y.S., Oshkin S.E.

National Childrens Technopark, Minsk, Republic of Belarus

Ilyasova M.S. - master's degree, assistant of the EPE Department

Annotation. This article discusses the development of a VR vocational simulator based on the Unity engine. The paper describes the architecture of a navigation hub, the integration of AI for modeling communicative scenarios, and the implementation of physically accurate industrial processes (welding, bricklaying, and PC assembly). The developed tool aims to increase the effectiveness of career guidance and practical training for students within a safe, interactive environment.

Keywords: simulator, VR, Unity, career guidance, artificial intelligence, interactive learning

УДК [004.774+791]:331.101.1

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ «КИНОДНЕВНИК» И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Вальмус У.М.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Карпович Е.Б. – ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. В статье рассматриваются возможности влияния цифрового кинодневника на процессы внимания, запоминания и эмоциональной регуляции. Показано, что регулярная фиксация впечатлений способствует осмыслению переживаний и формированию устойчивых когнитивных моделей. Представлена структура интерфейса приложения, разработанная с учетом воздействия цветовых решений на эмоциональное состояние пользователя. Определена роль цифрового дневника как инструмента рефлексии и осознанного медиапотребления.

Ключевые слова: цифровой дневник, эмоциональная регуляция, рефлексия, память, пользовательский интерфейс, психология цвета, тёмная тема, UX-дизайн

Введение. Значительное увеличение объёмов визуальной информации создает у современного зрителя эффект мимолётного восприятия: картины и сериалы воспринимаются спешно, однако вызывают минимальное количество длительных воспоминаний. Это порождает необходимость в инструментах, способных задерживать и интерпретировать переживания. К таким средствам относится цифровой кинодневник – платформа, предназначенная для систематизации впечатлений, повторного обращения к ним и построения личной истории просмотра. Исследования в области когнитивной психологии и практик саморефлексии демонстрируют, что запись переживаний способствует лучшему удержанию информации, повышает эмоциональную устойчивость и развивает осознанность.

Основная часть. Материалы, посвящённые ведению дневников и психологическим аспектам пользовательского опыта, указывают на то, что процесс фиксации мыслей положительно сказывается на эмоциональном состоянии, работе памяти и развитии внимательности. Современные научные данные, представленные в аналитических обзорах, свидетельствуют, что постоянная регистрация своих чувств снижает уровень тревожности, помогает выстраивать внутреннюю структуру переживаний и формирует прочные когнитивные модели. Так, в издании *Journal for Well-Being* говорится, что ведение дневника укрепляет эмоциональную стабильность и снижает нагрузку от стресса благодаря трансформации переживаний в письменный вид [1].

Подтверждение этим выводам дают исследования *Child Mind Institute*, где акцентируется внимание на том, что регулярная запись помогает как детям, так и взрослым точнее распознавать свои состояния, уменьшать внутреннее напряжение и формировать умение контролировать себя [2]. Аналогичные результаты представлены в обзоре *Reflection App*, где журналы рассматриваются как средство развития метапознания – способности замечать собственные реакции и анализировать их последствия [3].

Исследования показывают, что выражение впечатлений на письме запускает процессы глубокой обработки информации, что улучшает закрепление данных в долгосрочной памяти и увеличивает шансы на сохранение эмоционально насыщенных моментов. Применимо к просмотру фильмов – фиксация чувств помогает зрителю осознаннее воспринимать свою реакцию, выделять ключевые сцены и строить индивидуальную нарративную структуру восприятия [4].

Цифровые платформы усиливают этот эффект за счёт удобства доступа, возможности повторного чтения и отслеживания изменений в восприятии со временем. В отличие от традиционных блокнотов, электронные решения позволяют систематизировать записи, мгновенно находить нужные данные и интегрировать графические элементы интерфейса в процесс эмоциональной саморефлексии.

В условиях цифрового окружения особое значение приобретает цветовая палитра интерфейса. Согласно данным в области дизайна пользовательского опыта, цвет воспринимается первым и задаёт эмоциональный тон взаимодействия. Как отмечено в статье *UXMag*, цвет прямо влияет на настроение, восприятие контента и степень вовлечённости пользователя [5].

На основе опубликованных исследований сформулированы рекомендации к цветовому решению интерфейса: синий цвет наилучшим образом подходит для пространств, ориентированных на личные размышления и дневниковую практику [6]; прохладные тона снижают уровень тревожности и создают чувство защищённости, что особенно ценно в сервисах, где пользователи делятся личным опытом [7]; зелёные элементы кажутся мягкими и естественными, вызывают ощущение корректности действий и повышают склонность к взаимодействию [8]. Такие цветовые решения эффективны для кнопок типа «Добавить заметку» или «Сохранить», так как минимизируют психологическое сопротивление и поддерживают комфортный пользовательский опыт

Эти теоретические положения легли в основу разработки веб-приложения «Кинодневник», созданного как инструмент для фиксации впечатлений от просмотренных фильмов и формирования личной медиапамяти. Центральным элементом интерфейса является страница создания заметки, где пользователь может записывать свои эмоции, мысли, ассоциации и ключевые моменты просмотра. На рисунке 1 представлена основная рабочая область приложения, включающая поле ввода текста, кнопки сохранения и удаления, а также визуальные акценты, направляющие внимание пользователя (рисунок 1).

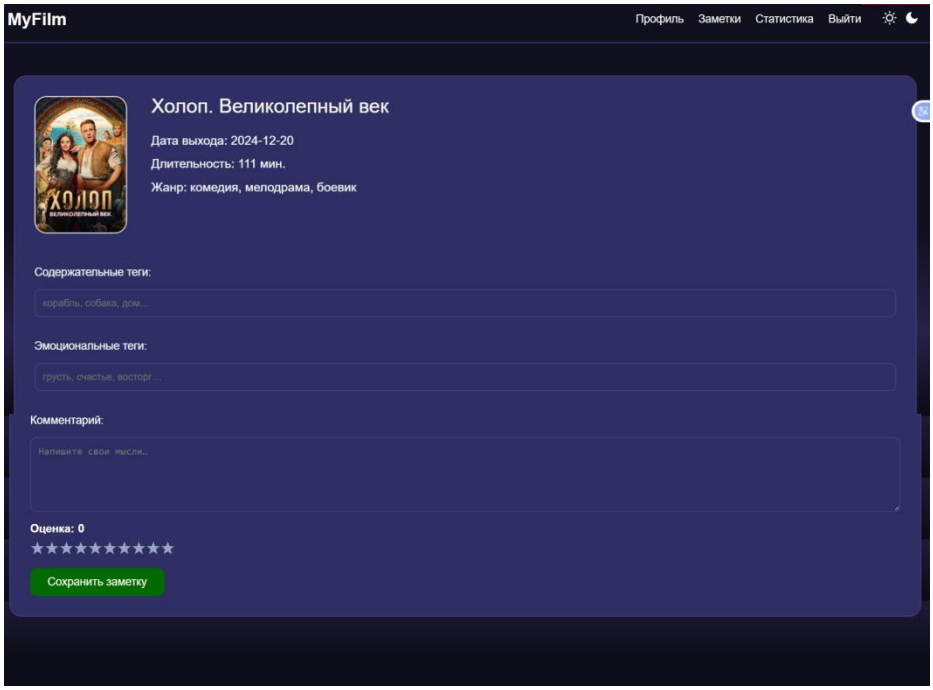


Рисунок 1 – Интерфейс страницы создания заметки

Приложение реализует базовый, но функционально завершённый набор возможностей: создание, сохранение, редактирование и удаление заметок. Все данные хранятся в локальном хранилище браузера, что обеспечивает автономность работы и мгновенный доступ к записям без необходимости регистрации или подключения к серверу. Такой подход делает взаимодействие быстрым, приватным и удобным.

Структура интерфейса спроектирована таким образом, чтобы минимизировать когнитивную нагрузку. Экран заметки содержит только необходимые элементы, а отсутствие визуального шума помогает сосредоточиться на процессе рефлексии. Это соответствует принципам эмоционального дизайна, согласно которым простота интерфейса способствует более глубокому осмыслению контента.

Важной частью разработки стала система цветовых тем. Базовая тёмная тема выполнена в глубоких синих оттенках, создающих атмосферу спокойствия и сосредоточенности. Она особенно удобна для пользователей, которые ведут заметки сразу после просмотра фильма, когда эмоциональный фон ещё насыщен. Акцентные элементы – кнопки «Добавить заметку», «Сохранить», «Удалить» – выполнены в мягком зелёном цвете, ассоциирующемся с безопасностью и корректностью действий.

Для пользователей, предпочитающих светлые визуальные решения, реализована альтернативная тема. Она построена на розово-голубом градиенте, создающем лёгкое и эмоционально тёплое пространство, а фиолетовые кнопки добавляют выразительности и визуальной структуры. Переключение между темами происходит мгновенно, что позволяет адаптировать приложение под индивидуальные предпочтения и условия использования.

Заключение. В ходе работы был спроектирован и разработан цифровой кинодневник, направленный на поддержку процессов внимания, запоминания и эмоциональной регуляции при взаимодействии с медиаконтентом. Реализованная структура заметок и система цветовых тем опираются на психологические принципы, что обеспечивает комфортную среду для фиксации переживаний и осмысленного медиапотребления. Полученные результаты подтверждают, что сочетание рефлексивных практик и продуманного интерфейсного решения делает цифровой кинодневник эффективным инструментом для работы с личными впечатлениями.

Список литературы

1. *The Science-Backed Benefits of Journaling / Journal for Well-Being Research Group // Journal for Well-Being. – 2023. – URL: https://journalforwellbeing.com/journaling-science-benefits.*
2. *The Power of Journaling / Child Mind Institute Editorial Team // Child Mind Institute. – 2023. – URL: https://childmind.org/blog/the-power-of-journaling/.*
3. *The Benefits of Journaling: Backed by Research / Reflection App Research Team // Reflection Blog. – 2023. – URL: https://www.reflection.app/blog/benefits-of-journaling.*
4. *The Benefits of Journaling for Mental Health / PositivePsychology Editorial Team // PositivePsychology.com. . – 2023. – URL: https://positivepsychology.com/benefits-of-journaling/.*
5. *The Psychology of Color in UI/UX Design / UXMag Editorial Team // UXMag. – 2023. – URL: https://uxmag.com/articles/the-psychology-of-color-in-ui-ux-design.*
6. *The Psychology of Colors in UX/UI Design / Uiverse Editorial Team // Uiverse Blog. – 2023. – URL: https://uiverse.io/blog/the-psychology-of-colors-in-uxui-design.*
7. *Color Psychology in UI Design / MindInventory Research Group // MindInventory. – 2023. – URL: https://www.mindinventory.com/blog/color-psychology-in-ui/.*
8. *Color Psychology in UI Design: How Colors Influence User Behavior / Gapsy Studio Team // Gapsy Studio Blog. – 2023. – URL: https://gapsystudio.com/blog/color-psychology-in-ui-design/.*

UDK [004.774+791]:331.101.1

WEB APPLICATION «FILM DIARY» AND ITS ERGONOMIC SUPPORT

Valmus U.M.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Karpovich E.B., Senior Lecturer, Department of IPiE

Annotation. The article examines how a digital film diary can influence attention, memory processes, and emotional regulation. It demonstrates that regular recording of impressions supports the interpretation of experiences and the formation of stable cognitive patterns. The structure of the application's interface is presented, designed with consideration of how color solutions affect the user's emotional state. The role of the digital diary as a tool for reflection and mindful media consumption is defined.

Keywords: digital diary, emotional regulation, reflection, memory, user interface, color psychology, dark theme, UX design

УДК 004.89:004.056.5

ПРИМЕНЕНИЕ NLP-МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ «ТОКСИЧНОГО» ПОВЕДЕНИЯ В ЧАТАХ

Василевский В. В., Пущик Е. А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Рышкель О.С. – к. с.-х н., доцент, доцент кафедры ИПиЭ

Аннотация. Апробирован подход к автоматической модерации текстовых сообщений в онлайн-чатах на основе предварительно обученной нейронной модели архитектуры *BERT*. Разработан программный прототип в виде чат-бота для платформы *Telegram*, продемонстрирована его эффективность на тематической выборке данных и определены метрики качества выявления «токсичного» поведения.

Ключевые слова: *NLP*-модели, автоматическая модерация, «токсичное» поведение, эмодзи-семантика, классификация сообщений

Введение. Онлайн-общение давно перестало быть «простым текстом». В университетских и рабочих *Telegram*-чатах смешаны языки, эмодзи, аббревиатуры, мемы, код, сарказм и *IT*-жаргон. Классические решения (частотные словари, линейные модели, статические правила и регулярные выражения) системно проигрывают из-за проблем:

– смысл сообщения зависит от предыдущих реплик, адресата и ветвления треда;

– эмодзи, реакции и «скобочки» часто заменяют лексику и меняют тон;

– сообщениям в контексте диалога присущи полисемия и сарказм (например: «круто, опять всё сломалось» - отрицательная оценка, а не похвала).

Нейронные модели типа трансформер лучше улавливают семантику, но в финальных условиях возникают ограничения: задержки, стоимость для вывода, интерпретируемость, а также неспособность на лету учитывать эмодзи, молодёжный сленг и вставки кода [1].

Цель работы - оптимизировать процесс определения грубого поведения и показать, что компактная модель, обученная под *Telegram*-среду, способна быстро и объяснимо выявлять токсичное поведение при высокой точности.

Основная часть. В рамках исследования разработан полный алгоритм обработки данных и проведено дообучение модели на специализированных корпусах с учётом: контекста; значков-эмоций, реакций и символических обозначений («скобочек»), выделяемых отдельной подсистемой разметки; профессионального жаргона и включений программного кода, предварительно нормализуемых и приводимых к единообразному виду; работы в нескольких видах данных: в том числе автоматическое распознавание речи для голосовых сообщений при необходимости уточнения смысла.

Полученная система обладает следующими чертами:

– адаптация под среду *Telegram* с учётом локального контекста и значков-эмоций;

– поддержка нескольких видов данных: распознавание речи и выборочное привлечение описаний изображений;

– формирование понятного отчёта с указанием токенов и выражений, наиболее повлиявших на решение;

– высокая скорость работы – менее 50 мс на процессорных системах, при среднем показателе качества более 95% *F*1 на тематических наборах данных.

Для классификации токсичности используется модель семейства *BERT* [2]. Формально задача работы определяется как выбор между двумя классами: нейтральное сообщение и оскорбительное сообщение.

Решение принимается на основе максимальной вероятности, а уверенность модели используется для разделения однозначно токсичных и сомнительных случаев. Для модерации вводится пороговое значение уверенности, позволяющее уменьшить количество ошибок, когда нейтральные фразы ошибочно принимаются за оскорбления.

Создан специализированный корпус: анонимизированные учебные и профессиональные

чаты, а также синтетические примеры диалогов. Сообщения были вручную размечены: «токсичное» / «нетоксичное», а также выделены подтипы – сарказм, пассивная агрессия, полушутливые пикировки, намеренное искажение слов, массовое использование значков-эмоций, реакции и «скобочки».

Значки-эмоции и реакции выделяются в отдельную область представления данных, что позволяет различать их смысл в разных ситуациях. Например, одинаковые значки могут означать насмешку в обзоре или дружескую шутку между знакомыми. Модель получает окно контекста из нескольких сообщений, что позволяет корректно трактовать смысл фраз в диалоге.

Процесс обработки сообщения включает: получение сообщения из *Telegram*, предварительную обработку текста, формирование контекста, при необходимости – распознавание речи или получение текстового описания изображения, классификацию, формирование объяснения. Схема процесса обработки представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Схема процесса обработки

Предварительная обработка включает нормализацию значков-эмоций, выделение типичных сочетаний, замену фрагментов кода служебными обозначениями, унификацию ссылок и цитат, а также устранение намеренных искажений текста.

Контекст учитывается через окно из нескольких последовательных сообщений. Это позволяет различать шутки и настоящие оскорбления, что существенно уменьшает количество пропусков токсичных сообщений.

Модель выдаёт не только итоговое решение, но и объяснение, в котором указано, какие слова, знаки и элементы контекста повлияли на результат.

Для анализа устойчивости модели были собраны три независимых корпуса:

– сообщения учебных и профессиональных чатов (основной корпус);

– открытые обсуждения в других источниках;

– набор сложных примеров: сарказм, искажённый текст, избыток значков-эмоций.

Оценка проводилась по нескольким метрикам: точность, полнота, *F*1-мера, *ROC-AUC*. Модель показала высокие результаты: более 96% точности на основном корпусе и более 94% – на внешних данных. Точные показатели представлены на матрице ошибок на рисунке 2:

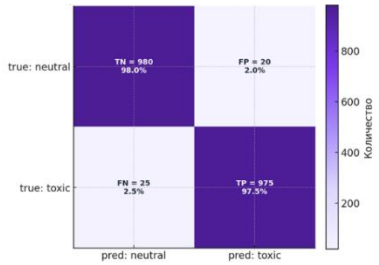


Рисунок 2 – Матрица ошибок

Для каждого сообщения строится тепловая карта вкладов слов, символов и значков-эмоций, показывающая, какие элементы больше всего повлияли на классификацию.

Даже с включёнными механизмами объяснения задержка обработки одного сообщения удерживается в пределах менее 50–80 мс. Все показатели задержки представлены на рисунке 3:

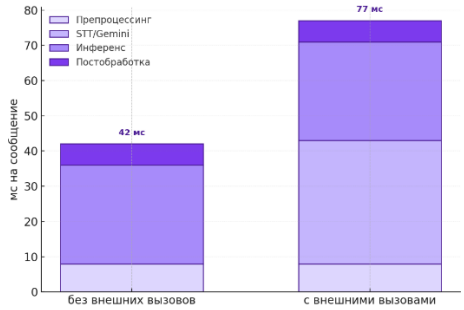


Рисунок 3 – Задержки по стадиям

Заключение. В результате выполнения работы было выявлено, что адаптированная под *Telegram* модель с учётом значков-эмоций, контекста диалога и выборочной поддержки нескольких видов данных обеспечивает высокое качество выявления грубого поведения при низкой задержке обработки.

Модель устойчива к сленгу, искажённому тексту, реакциям и неформальному стилю общения, объясняет свои решения и подходит для использования в учебных и рабочих чатах.

Список литературы

1. *Devlin J., Chang M.W., Lee K., Toutanova K. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding [Electronic resource]. – Date of access: March 02, 2025. – Available at: https://aclanthology.org/N19-1423/.*

2. *Wolf T. Transformers: State-of-the-Art Natural Language Processing [Electronic resource]. – Date of access: March 02, 2025. – Available at: https://arxiv.org/abs/1910.03771.*

UDC 004.89:004.056.5

APPLICATION OF NLP MODELS FOR DETECTING TOXIC BEHAVIOR IN CHATS

Vasilevsky V.V., Pushchik E.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Scientific supervisor: Ryshkel O.S. –Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the Department of ICSD

Annotation. The article presents an approach to automatic moderation of text messages in online chats using a pre-trained neural network model based on the BERT architecture. A software prototype in the form of a Telegram chat-bot has been developed, its efficiency has been demonstrated on a domain-specific dataset, and key quality metrics for detecting crude and offensive behavior have been determined.

Keywords: NLP models, automatic moderation, toxic behavior, emoji semantics, message classification

УДК 621.383.51

СОЛНЕЧНЫЙ ТРЕКЕР С АВТОМАТИЧЕСКИМ НАВЕДЕНИЕМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ

Яблонская А.А., Помахо А.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Цявловская Н.В. – магистр технических наук, ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. В рамках школьного исследовательского проекта разработан и изготовлен двухосевой солнечный трекер на базе микроконтроллера *Arduino Uno* с использованием четырёх миниатюрных солнечных панелей в качестве датчиков освещённости. Проведено сравнение выработки энергии трекером и стационарной панелью одинаковой площади (64 см²) в реальных условиях преимущественно пасмурной погоды. Получен прирост среднего напряжения за день ≈28,1 % (среднее 0,205 мВ против 0,160 мВ). Экстраполяция на 1 м² даёт ~125 Вт·ч за 8 солнечных часов. Показано, что трекер позволяет сократить необходимую площадь панелей на 20–28 % (в ясную погоду – до 40–50 %) для покрытия нужд семьи (144 кВт·ч/мес) или гимназии (5610 кВт·ч/мес). Обсуждаются конструкция, алгоритм *Ardublock*, энергозатраты привода и направления доработки: фоторезисторы *LDR* вместо панелей-датчиков, *MPPT*-контроллер, дискретный режим слежения, астрономическое наведение. Проект подтверждает перспективность трекеров для регионов с умеренной инсоляцией и высокой облачностью, таких как север Беларуси.

Ключевые слова: солнечный трекер, автоматическое слежение за Солнцем, *Arduino*, солнечная панель, возобновляемые источники энергии, энергосбережение, школьный проект, эффективность, Витебская область

Введение. *XXI* век характеризуется острыми энергетической и экологической проблемами. В Республике Беларусь активно развивается использование возобновляемых источников энергии, включая солнечную [1, 2, 5]. По данным государственного кадастра ВИЭ, в стране функционирует 232 установки на ВИЭ общей мощностью 288,9 МВт, среди которых 14 – солнечные. Витебская область, несмотря на более низкую инсоляцию по сравнению с югом страны, реализует проекты вроде гелиоустановки «Пламя» (1,6 МВт, Сенненский район) и малых систем в биосферных заповедниках и сельхозобъектах [2].

Стационарные панели достигают максимального КПД лишь около полудня. Солнечные трекеры, отслеживающие положение Солнца, позволяют существенно увеличить выработку энергии [3, 4].

Основная часть. Для изготовления солнечного трекера применена простая конструкция на деревянной раме, усиленной корпусом из МДФ. В качестве датчиков освещённости использованы четыре миниатюрные солнечные панели площадью по 16 см² каждая, извлечённые из садовых светильников. Панели размещены по периметру подвижной платформы и оснащены виниловыми заслонками, создающими теневые контрасты для определения направления на источник света. Поворот платформы обеспечивают два сервопривода: один отвечает за азимут с диапазоном около 160°, второй – за высоту с диапазоном до 60°. Управление осуществляется микроконтроллером *Arduino Uno* с платой-расширителем *Sensor Shield V5.0*, питание, программирование и отладка выполняются по *USB* от компьютера. Программная часть реализована в среде *Ardublock*. При включении или отсутствии освещения устройство устанавливается в исходное восточное положение. В рабочем режиме программа непрерывно считывает аналоговые сигналы с четырёх датчиков, вычисляет разности освещённости, определяет направление максимального света и выполняет пошаговый поворот примерно на 1° за цикл до выравнивания показаний всех датчиков. При падении освещённости ниже заданного порога система возвращается в исходное положение.

Для снижения энергопотребления предлагается переход на дискретный режим с поворотом платформы раз в 1–2 часа. Эксперимент проводился в преимущественно пасмурную погоду каждые два часа с 8:00 до 18:00. Сравнивались две панели одинаковой

суммарной площади 64 см²: одна на трекере, вторая – стационарная с ориентацией на полдень. Диаграмма зависимости напряжения (мВ) солнечных панелей от времени суток в пасмурную погоду представлена на рисунке 1.

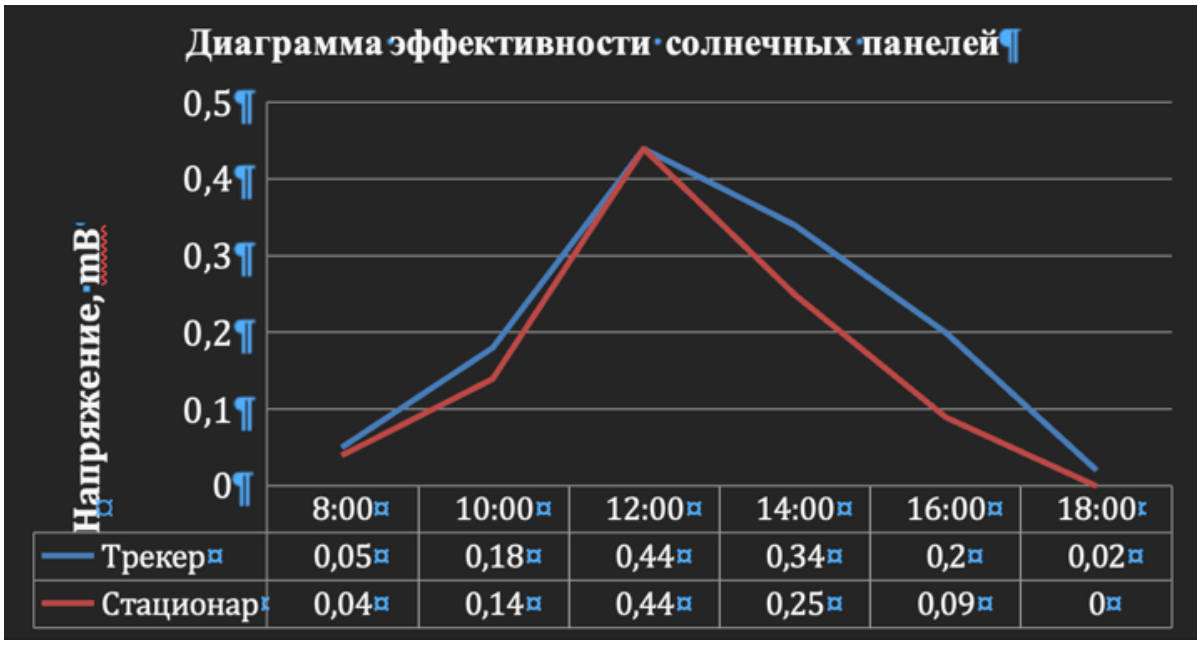


Рисунок 1 – Диаграмма зависимости напряжения от времени суток

В 8:00 трекер показал 0,05 мВ против 0,04 мВ у стационарной (+25 %), в 10:00 – 0,18 мВ против 0,14 мВ (+28,6 %), в 12:00 оба варианта дали 0,44 мВ, в 14:00 – 0,34 мВ против 0,25 мВ (+36 %), в 16:00 – 0,20 мВ против 0,09 мВ (+122 %), в 18:00 – 0,02 мВ против 0 мВ. Среднесуточное напряжение составило 0,205 мВ для трекера и 0,160 мВ для стационарной панели, что соответствует приросту около 28,1 %. Суммарная выработка за период наблюдений достигла 1,23 условных единиц у трекера против 0,96 у.е. у неподвижной панели. Наиболее выраженное преимущество трекера проявилось во второй половине дня. Литературные данные подтверждают полученные результаты: двухосевые трекеры в пасмурную погоду обеспечивают прирост 20–30 %, в ясную – до 40–50 % [3, 4]. Даже в условиях высокой облачности, типичной для северных регионов Беларуси, трекер демонстрирует заметное преимущество [5]. Исходя из условной выработки 125 Вт·ч на 1 м² за 8 солнечных часов, для семьи с месячным потреблением 144 кВт·ч стационарная система требует около 4,8 м² панелей, а применение трекера позволяет сократить площадь до 3,4–3,8 м² (на 20–28 %, в солнечные месяцы – до 40 %) [3]. Для гимназии с расходом 5610,9 кВт·ч в месяц стационарная система потребовала бы около 187 м², тогда как трекер существенно повышает реалистичность размещения установки на крыше здания. Ограничениями текущей конструкции являются заметное собственное энергопотребление при непрерывном слежении, недостаточная точность миниатюрных панелей как датчиков, отсутствие измерения тока и *MPPT*-контроллера.

Рекомендуемые улучшения включают переход на дискретный или спящий режим, замену датчиков на фоторезисторы, внедрение модуля *INA219* и *MPPT*-контроллера [4]. В планах дальнейшего развития – проведение измерений в ясную погоду, круглогодичный мониторинг, создание масштабированной версии мощностью 100–200 Вт с реальной нагрузкой, расчёт экономической эффективности и добавление *Wi-Fi*-мониторинга на базе *ESP32*.

Заключение. Разработанный трекер на доступных компонентах увеличивает выработку энергии на 28,1 % в пасмурных условиях (прогноз до 40–50 % в солнечные дни), что особенно ценно для регионов с высокой облачностью, как Витебская область [5]. Трекеры позволяют сократить площадь панелей на крышах домов и школ, решая проблему ограниченного пространства. Проект может использоваться на уроках физики, информатики и экологии, а

также как демонстрационная модель для популяризации «зелёных» технологий.

Список литературы

1. *Борисовский государственный колледж. Энергетическая проблема мирового уровня и Беларуси в частности. URL: https://clck.ru/EqrN2 (дата обращения: 06.12.2018).*

2. *Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. URL: http://minpriroda.gov.by (дата обращения: 06.12.2018).*

3. *Виссарионов В.И. и др. Солнечная энергетика. Методы расчетов. М.: МЭИ, 2008. 317 с.*

4. *Гибилиско С. Альтернативная энергетика без тайн. М.: Эксмо-Пресс, 2010. С. 289–336.*

5. *Портал «Соседство ЕС». Всё ясно: как в Беларуси развивается солнечная энергетика. URL: https://www.euneighbours.eu (дата обращения: 06.12.2018).*

UDC 621.383.51

SOLAR TRACKER WITH AUTOMATIC GUIDANCE TO INCREASE THE EFFICIENCY OF SOLAR PANELS

Yablonskaya A.A.; Pamakha Alesia

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

N.V. Tsyavlovskaya – Senior Lecturer at the Department of Engineering Psychology and Ergonomics, Master of Technical Sciences

Annotation. Within the framework of a school research project, a dual-axis solar tracker was designed and fabricated based on an Arduino Uno microcontroller, utilizing four miniature solar panels as light sensors. A comparative analysis was conducted of energy generation between the tracker and a stationary panel of identical area (64 cm²) under real-world conditions, predominantly cloudy weather. An average daily voltage increase of approximately 28.1% was obtained (mean values: 0.205 mV vs. 0.160 mV). Extrapolation to 1 m² yields approximately 125 Wh over 8 solar hours. It is demonstrated that the tracker enables a reduction in the required solar panel area by 20–28% (and up to 40–50% under clear weather) to meet the energy needs of a household (144 kWh/month) or a gymnasium (5610 kWh/month). The design, Ardublock-based algorithm, drive power consumption, and potential improvements are discussed, including replacement of sensor panels with LDR photoresistors, integration of an MPPT controller, discrete tracking mode, and astronomical positioning. The project confirms the promising potential of solar trackers in regions with moderate insolation and high cloud cover, such as northern Belarus.

Keywords: solar tracker, automatic sun tracking, Arduino, solar panel, renewable energy sources, energy saving, school project, efficiency, Vitebsk region

УДК 004.9:622

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

Жарский Е.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Телеш И.А. – к. г. н., доцент кафедры ИПиЭ

Аннотация. Разработано веб-приложение для автоматизированного мониторинга технического состояния горнодобывающего оборудования. Реализованы модули сбора и визуализации телеметрических данных в режиме реального времени, автоматического оповещения при превышении пороговых значений параметров, планирования технического обслуживания по моточасам, а также журналирования событий и аналитики показателей надёжности. Серверная часть построена на основе FastAPI и PostgreSQL, клиентская – на React с применением протокола WebSocket.

Ключевые слова: мониторинг оборудования, горнодобывающая промышленность, FastAPI, React, WebSocket.

Введение. Горнодобывающая промышленность относится к числу отраслей с высокой капиталоёмкостью парка технологического оборудования. На предприятиях ОАО «Беларуськалий» эксплуатируются сотни единиц горной техники – комбайны, конвейеры, буровые установки, самосвалы, – суммарная стоимость которых исчисляется миллиардами рублей. Незапланированный простой даже одной единицы оборудования влечёт за собой ощутимые производственные и финансовые потери. Согласно отраслевой статистике, до 40% внеплановых остановок технологических процессов в горнодобывающей промышленности обусловлены отказами оборудования, которые при своевременной диагностике могли быть предотвращены [1].

Традиционные подходы к техническому обслуживанию, основанные на плановых периодических осмотрах и субъективной оценке состояния оборудования персоналом, не позволяют оперативно реагировать на аномальные отклонения параметров в режиме реального времени. Отсутствие централизованного инструмента мониторинга приводит к тому, что критические события фиксируются с запозданием, журналы технического обслуживания ведутся разрозненно, а аналитика по надёжности оборудования практически недоступна для принятия управленческих решений [2].

Существующие коммерческие системы мониторинга, как правило, ориентированы на оборудование конкретного производителя и не обеспечивают интеграцию разнородного парка техники в единое информационное пространство. Кроме того, высокая стоимость внедрения и лицензирования подобных решений делает их малодоступными для средних предприятий. Разработка универсальной открытой платформы, адаптированной под нужды горнодобывающего предприятия, представляет собой актуальную инженерную задачу.

Основная часть. Разрабатываемая система построена на принципе разделения ответственности: сбор данных с датчиков оборудования (температура, вибрация, моточасы) выполняется внешними шлюзами, которые взаимодействуют с приложением через предоставляемый REST API. Такой подход позволяет абстрагироваться от протоколов конкретных устройств и сосредоточиться на логике обработки и визуализации данных. Архитектура системы организована по клиент-серверной модели с чётким разграничением слоёв представления, бизнес-логики и хранения данных.

При проектировании схемы базы данных выделены следующие основные сущности: оборудование (Equipment), датчик (Sensor), телеметрическое измерение (Measurement), событие технического обслуживания (MaintenanceEvent), уведомление (Notification) и пользователь (User). Связь «один ко многим» между оборудованием и датчиками позволяет гибко настраивать набор контролируемых параметров для каждой единицы техники без изменения структуры данных. Индексирование таблицы измерений по полям device_id и

timestamp обеспечивает высокую скорость выборки при построении временных графиков.

Серверная часть реализована на базе фреймворка FastAPI, что обеспечивает высокую производительность асинхронной обработки входящих потоков телеметрии [3]. В качестве основной СУБД выбрана PostgreSQL. Клиентская часть построена на React с использованием WebSocket-соединений для отображения актуальных статусов оборудования с интервалом обновления 5 секунд. Развёртывание системы производится посредством Docker-контейнеризации с балансировкой нагрузки через Nginx, что обеспечивает горизонтальную масштабируемость при подключении до 1000 единиц техники одновременно [4].

Безопасность доступа обеспечивается JWT-аутентификацией с разграничением ролей: администраторы системы, инженеры технического обслуживания и операторы обладают различными правами на просмотр и редактирование данных. Все действия пользователей фиксируются в журнале аудита. Транспортный уровень защищён протоколом HTTPS.

Для приёма телеметрии от внешних шлюзов предусмотрены специализированные REST-эндпоинты: POST /sensors/{device_id}/data принимает пакеты измерений, POST /alerts регистрирует события от сторонних систем. Версионирование API через префикс /api/v1/ обеспечивает обратную совместимость при развитии платформы. Автоматически генерируемая интерактивная документация на основе OpenAPI-спецификации (Swagger UI) упрощает подключение новых источников данных и интеграцию с корпоративными ERP-системами.

Центральным элементом пользовательского интерфейса является главный дашборд, отображающий сводную картину состояния всего парка техники: количество единиц в нормальном режиме работы, в состоянии предупреждения и в аварийном состоянии, а также ключевые показатели надёжности – в частности, среднее время наработки на отказ. Карточка каждой единицы оборудования содержит актуальный статус и временные графики измеряемых параметров.

Подсистема уведомлений функционирует в двух режимах. Аварийные оповещения формируются автоматически при превышении настраиваемых пороговых значений параметров и доставляются ответственным специалистам посредством электронной почты. Второй режим – плановые напоминания о техническом обслуживании: система рассчитывает сроки очередных регламентных работ по заданной периодичности (например, каждые 500 моточасов) и заблаговременно уведомляет исполнителей за 1 и 3 дня до наступления срока.

Журнал событий формирует полную хронологию технического состояния каждой единицы техники: поломки, плановые и внеплановые ремонты, замены узлов с указанием ответственного специалиста. Предусмотрена фильтрация записей по оборудованию, периоду и типу события, а также экспорт выборок в форматы PDF и Excel для последующей передачи в службы технического контроля или интеграции с корпоративными ERP-системами.

Через мобильный интерфейс техник может выбрать нужную единицу оборудования из списка, просмотреть историю обслуживания и зафиксировать выполненные работы с указанием времени, типа работ и ответственного исполнителя – без установки отдельного мобильного приложения.

Аналитический модуль позволяет отслеживать тренды отказов в разрезе типов оборудования за произвольный период. В качестве перспективного направления рассматривается внедрение предиктивной аналитики на основе алгоритмов машинного обучения: прогнозирование вероятности отказа по динамике вибрационных характеристик позволит перейти от планово-предупредительной к предиктивной модели технического обслуживания [5].

Заключение. Разработанное веб-приложение ориентировано на практическое применение в условиях реального горнодобывающего предприятия. Централизация данных о состоянии оборудования в едином информационном пространстве и переход от реактивного к проактивному управлению техническим обслуживанием способны существенно сократить количество внеплановых простоев и снизить затраты на эксплуатацию техники. Система спроектирована с учётом специфики работы ОАО «Беларуськалий» и может быть адаптирована для иных объектов горнодобывающей отрасли. Практическая апробация системы запланирована на базе одного из рудоуправлений ОАО «Беларуськалий», что позволит оценить реальную эффективность предложенных решений и скорректировать

функциональные требования по итогам опытной эксплуатации. Практическая апробация системы запланирована на базе одного из рудоуправлений ОАО «Беларуськалий», что позволит оценить реальную эффективность предложенных решений и скорректировать функциональные требования по итогам опытной эксплуатации. Ожидается, что внедрение системы сократит среднее время реакции на аварийные события не менее чем в два раза по сравнению с существующей практикой ручного контроля.

Таким образом, предлагаемое решение закрывает актуальный технологический пробел в управлении жизненным циклом горнодобывающего оборудования, предоставляя инженерно-техническому персоналу и руководству предприятия полноценный инструмент для оперативного мониторинга, планирования технического обслуживания и анализа надёжности парка техники. Открытый API и модульная архитектура системы обеспечивают её расширяемость и возможность интеграции с существующими корпоративными информационными системами. Дальнейшее развитие системы предполагает реализацию модуля предиктивной аналитики на основе машинного обучения, расширение перечня поддерживаемых типов оборудования, а также интеграцию с системами автоматизированного управления производством (АСУП) для обеспечения сквозного цифрового контроля производственных процессов.

Список литературы

1. *Храмовских, В. А. Адаптивный интеллектуальный анализ данных как инструмент для прогнозирования ресурса узлов горных машин и оборудования / В. А. Храмовских, А. Н. Шевченко, К. А. Непомнящих // Науки о Земле и недропользование. – 2023. – Т. 46, №2. – С. 212–225. – URL: https://www.nznj.ru/jour/article/view/290*

2. *Королев, В. И. Методы прогнозного мониторинга технического состояния электрических машин / В. И. Королев // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2023. – Т. 19, №2. – С. 62–72. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/metody-prognoznogo-monitoringa-tehnicheskogo-sostoyaniya-elektricheskih-mashin*

3. *Савостин, П. А. Практическое применение асинхронного программирования на языке Python при помощи пакета Asyncio / П. А. Савостин, Н. Э. Ефремова // NB: Кибернетика и программирование. – 2018. – №4. – URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=25851*

4. *Топалов, Н. К. Контейнеризация приложений: преимущества Docker и Kubernetes / Н. К. Топалов // Молодой ученый. – 2024. – №51 (550). – С. 22–24. – URL: https://moluch.ru/archive/550/120711*

5. *Сай Ван Квонг. Архитектура системы предсказательного технического обслуживания сложных многообъектных систем в концепции Индустрии 4.0 / Сай Ван Квонг, М. В. Щербаков // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2020. – №2. – С. 45–59. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/arhitektura-sistemy-predskazatelnogo-tehnicheskogo-obsluzhivaniya-slozhnyh-mnogoobektnyh-sistem-v-kontseptsii-industrii-4-0*

UDC 004.9:622

WEB APPLICATION FOR MONITORING THE TECHNICAL CONDITION OF MINING EQUIPMENT

Zharski Y.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Telesh I.A. – Cand. of Sci., Associate Professor of the Department of IPiE

Annotation. A web application for automated monitoring of the technical condition of mining equipment has been developed. Modules for real-time collection and visualization of telemetry data, automatic alerting upon exceeding threshold parameter values, maintenance scheduling by engine hours, as well as event logging and reliability metrics analytics have been implemented. The server side is built on FastAPI and PostgreSQL, the client side – on React using the WebSocket protocol.

Keywords: equipment monitoring, mining industry, FastAPI, React, WebSocket.

УДК 004.9:619

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ВЕТЕРИНАРНОЙ КЛИНИКИ СО ВСТРОЕННЫМ ТОРГОВЫМ МОДУЛЕМ И ЕЕ ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Жданович А.Н.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Яцкевич А.Ю. – магистр педагог. наук, ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. В работе рассматривается проект интегрированной системы автоматизации ветеринарной клиники с торговым модулем и её эргономическое обеспечение. Показано, что объединение процессов записи на прием, ведения медицинских карт, рекомендаций товаров и оформления продаж в едином цифровом пространстве сокращает ручной ввод данных, снижает риск ошибок и повышает согласованность информации. Проект ориентирован на повышение эффективности работы администраторов и врачей, а также удобства взаимодействия клиентов с системой.

Ключевые слова: автоматизация, ветеринарная клиника, эргономика, юзабилити

Введение. В условиях цифровой трансформации сферы услуг особую актуальность приобретает автоматизация процессов, в том числе в ветеринарных клиниках. Расширение функционала клиник требует применения комплексных информационных систем.

На практике ветеринарные клиники сталкиваются со следующими проблемами:

– разрозненность программных решений для ведения медицинской документации;

– отсутствие интеграции между торговым и медицинским контуром, что приводит к дублированию информации.

В условиях развития онлайн-записи и интернет-продаж возникает потребность в создании интегрированной системы, обеспечивающей сквозную цифровую прослеживаемость полного цикла обслуживания клиента: от записи на прием до повторного визита и приобретения назначенных препаратов. Особое значение при проектировании такой системы приобретает эргономическое проектирование, направленное на снижение вероятности ошибок пользователей и оптимизацию взаимодействия администратора, врача и клиента с информационной средой.

Основная часть. Автоматизация бизнес-процессов ветеринарной клиники предполагает анализ полного цикла обслуживания клиента. Для выявления эффектов интеграции целесообразно сопоставить существующую модель организации операций с проектируемой интегрированной системой. Такое сопоставление позволяет определить зоны информационных разрывов, оценить роль администратора как связующего элемента процесса и выявить точки потенциального возникновения ошибок.

В существующей модели автоматизация носит фрагментарный характер. Запись на прием осуществляется децентрализовано через телефонный звонок администратору, сообщение на электронную почту или же социальную сеть. В последствии администратор фиксирует данные клиента и животного в системе или журнале учета. При этом назначение врача и информирование его о предстоящем приеме может происходить посредством бумажного дневника или устного уведомления, что формирует дополнительный внецифровой контур коммуникации.

После проведения приема врач вносит данные в медицинскую систему, однако назначенные препараты и рекомендации передаются администратору отдельно. Оформление продажи осуществляется в самостоятельной торговой системе, не связанной напрямую с медицинской частью. Напоминания клиентам также формируются администратором вручную. На рисунке 1 представлена диаграмма последовательности, отражающая данный процесс.

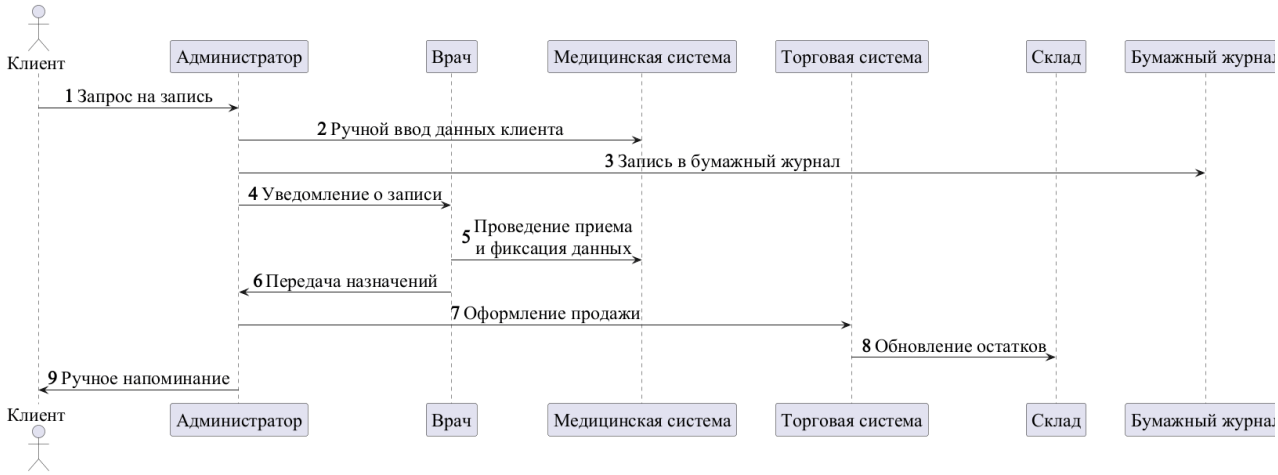


Рисунок 1 – Диаграмма последовательности

Анализ данной схемы показывает, что администратор фактически выполняет функцию посредника между медицинским и торговым контурами. Значительная часть операций связана с ручной передачей информации, что повышает вероятность неполной фиксации данных и создает зависимость от человеческого фактора.

В проектируемой системе запись на прием, ведение медицинской карты, рекомендации товаров и оформление продаж функционируют в едином информационном пространстве. Администратор сохраняет роль координатора расписания, однако работает с электронным календарем, доступным врачу в режиме реального времени, что исключает необходимость внецифровых способов уведомления. Обновление складских остатков и фиксация покупки происходят автоматически. Напоминания о повторных визитах или процедурах формируются на основе данных медицинской карты и истории посещений. На рисунке 2 представлена диаграмма последовательности после внедрения единой автоматизированной системы.

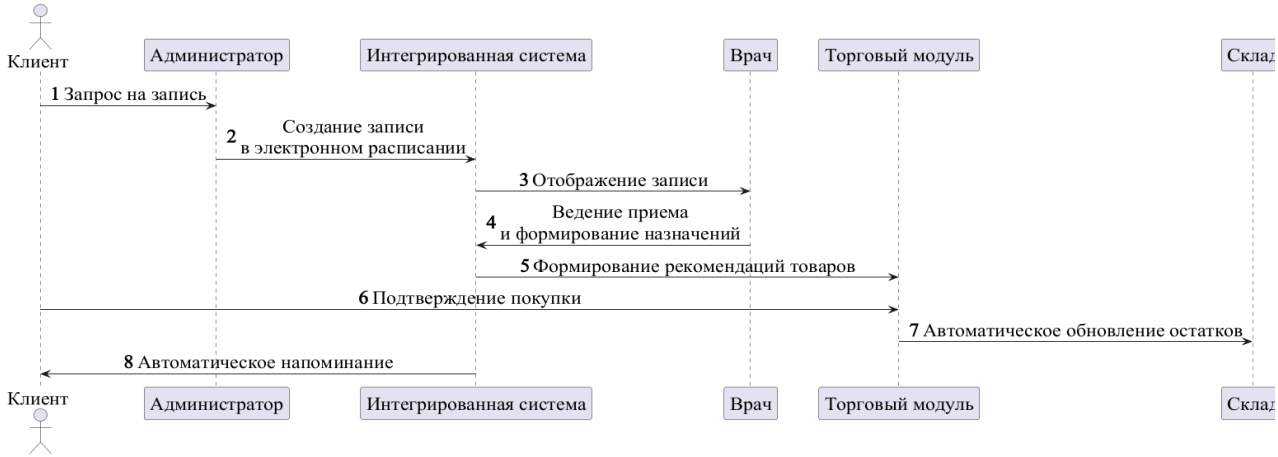


Рисунок 2 – Диаграмма последовательности после внедрения единой автоматизированной системы

В отличие от существующей модели, интегрированная система устраняет бумажный контур и снижает количество операций ручной передачи данных между участниками процесса. Администратор перестает быть единственной связующей точкой между медицинской и торговой частями. Это повышает согласованность информации, уменьшает число промежуточных действий и снижает вероятность искажения назначений при передаче.

Эргономическое проектирование интегрированной информационной системы ветеринарной клиники направлено на обеспечение эффективного и результативного взаимодействия пользователей с программной средой. В соответствии с международным стандартом ISO 9241-11 юзабилити определяется как степень, в которой система может быть

использована определёнными пользователями для достижения поставленных целей с эффективностью, результативностью и удовлетворённостью в заданном контексте применения [1]. В условиях фрагментированной автоматизации администратор выполняет функцию посредника между медицинским и торговым контурами, что требует многократного ручного ввода данных и постоянного переключения внимания между различными источниками информации. Такая организация работы увеличивает вероятность операционных ошибок и снижает предсказуемость процесса обслуживания.

Интеграция расписания, медицинских карт, модуля рекомендаций товаров и системы напоминаний в едином цифровом пространстве структурно упрощает взаимодействие пользователя с системой. Снижение количества промежуточных действий и устранение повторного ввода данных способствует уменьшению когнитивной нагрузки, что согласуется с положениями теории когнитивной нагрузки Дж. Свеллера [2]. Дополнительно принципы предотвращения ошибок и согласованности интерфейса, сформулированные Я. Нильсеном [3], подтверждают необходимость проектирования целостной среды, где состояние записей, назначений и торговых операций отображается прозрачно и взаимосвязано. Следовательно, интеграция медицинского и торгового модулей выступает инструментом повышения эффективности взаимодействия персонала с информационной системой.

Заключение. В результате проведенный анализ демонстрирует следующее, интеграция медицинского и торгового модуля в единый контур, позволяет существенно увеличить эффективность и устойчивость бизнес-процессов. Благодаря цифровой прослеживаемости полного цикла обслуживания, устранению бумажного контура и сокращению ручного ввода дынных снижается вероятность операционных ошибок, кроме того, данные изменения снижают нагрузку на администратора системы. В свою очередь эргономическое проектирование интерфейсов способствует снижению когнитивной нагрузки и повышению удобства работы пользователей.

Список литературы

1. *Эргономика взаимодействия человек – система. Ч. 11. Юзабилити: определения и основные понятия: ISO 9241-11:2018. Женева: International Organization for Standardization, 2018.*

2. *Sweller, J. Cognitive load during problem solving: Effects on learning // Cognitive Science. 1988. Vol. 12, No 2. P. 257–285.*

3. *10 эвристик удобства использования пользовательских интерфейсов [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/. Дата доступа: 18.02.2026.*

UDC 004.9:619

VETERINARY CLINIC INFORMATION SYSTEM WITH BUILT-IN COMMERCIAL MODULE AND ITS ERGONOMICS

Zhdanovich A.N.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Yatskevich A.Y. – Senior Lecturer at the Department of EPE

Annotation. The work examines the design of an integrated automation system for a veterinary clinic with a trade module and its ergonomic support. It demonstrates that combining the processes of appointment scheduling, medical record management, product recommendations, and sales processing within a single digital environment reduces manual data entry, lowers the risk of errors, and improves information consistency. The project is aimed at increasing the efficiency of administrators and veterinarians, as well as enhancing the ease of interaction for clients.

Keywords: automation, veterinary clinic, ergonomics, usability

УДК 004.774:621.395.34

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ АБОНЕНТОВ ОПЕРАТОРА СВЯЗИ

Анисенко Т.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Медведев О.С. – магистр техники и технологии, ст. преподаватель кафедры

Аннотация. Исследование архитектурных принципов построения системы, особенности организации серверной логики и модели хранения данных, а также механизмы интеграции с внешними информационными ресурсами. Повышение производительности операторов технической поддержки и снижения операционных рисков. Обоснована необходимость комплексного подхода к разработке, учитывающего требования масштабируемости, отказоустойчивости и оптимизации когнитивной нагрузки.

Ключевые слова: оператор связи, отказоустойчивость, информационная система, автоматизация бизнесс-процессов

Введение. Современные телекоммуникационные системы характеризуются высокой сложностью инфраструктуры и большим объёмом обрабатываемых данных. В условиях роста числа абонентов и расширения перечня услуг возрастает нагрузка на службы технической поддержки.

Анализ существующих решений показывает, что многие из них ориентированы преимущественно на функциональность, однако недостаточно учитывают удобство интерфейса и оптимизацию рабочих процессов операторов. Это приводит к увеличению времени обработки обращений, росту числа ошибок и необходимости повторного ввода данных из разрозненных систем.

В связи с этим актуальной задачей является разработка веб-приложения для технического сопровождения абонентов, обеспечивающего интеграцию с корпоративными системами, архитектурную устойчивость и рациональную организацию пользовательского взаимодействия.

Основная часть. Разрабатываемое веб-приложение реализуется на основе многоуровневой архитектурной модели с логическим разделением уровня представления, прикладной логики и хранения данных. Подобная декомпозиция обеспечивает независимость компонентов и упрощает масштабирование системы в условиях увеличения нагрузки.

В целях наглядного представления архитектурной организации разработанного веб-приложения на рисунке 1 приведена структурная схема взаимодействия основных компонентов системы [1].

Представленная схема отражает логическое разделение на уровень пользователя, серверную часть и уровень хранения данных. Пользователь осуществляет взаимодействие с системой через веб-интерфейс, формируя запросы на регистрацию обращений, управление услугами и получение информации о состоянии заявки. Серверная часть включает модуль обработки инцидентов, механизм распределения задач, модуль интеграции с биллинговыми системами, аналитический блок и подсистему безопасности.

Обмен данными между компонентами осуществляется посредством прикладных интерфейсов, а централизованное хранение информации обеспечивается базой данных, содержащей сведения об абонентах, обращениях, услугах и системных событиях. Таким образом, структурная схема подтверждает соответствие реализованной системы принципам многоуровневой архитектуры и демонстрирует распределение функциональной нагрузки между компонентами [2].

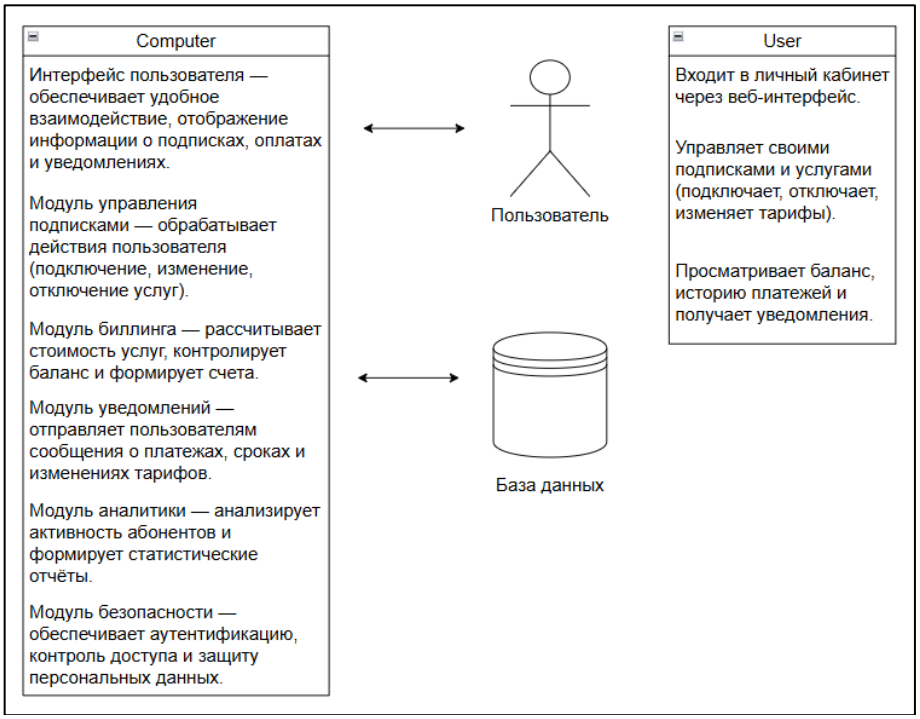


Рисунок 1 – Структурная схема веб-приложения технического сопровождения абонентов оператора связи

Клиентский уровень функционирует в браузерной среде и обеспечивает визуализацию данных, формирование пользовательских запросов и отображение результатов обработки. Взаимодействие с серверной частью осуществляется посредством протокола HTTP с использованием REST-ориентированных интерфейсов. Асинхронная модель обмена данными позволяет минимизировать задержки при обновлении состояния заявок и синхронизации с сервером [3].

Серверный уровень реализует бизнес-логику обработки инцидентов, механизм распределения задач, контроль выполнения регламентов и процедуры аутентификации и авторизации пользователей. Транзакционная обработка данных осуществляется с учетом требований атомарности, согласованности, изолированности и долговечности операций. Для обеспечения устойчивости к отказам предусматривается возможность горизонтального масштабирования и балансировки нагрузки между вычислительными узлами.

Уровень хранения данных основан на реляционной модели с нормализацией структуры до третьей нормальной формы. Это обеспечивает минимизацию избыточности и поддержание целостности информации. Индексирование ключевых атрибутов способствует сокращению времени выполнения запросов. Дополнительно реализуется механизм журналирования действий пользователей, позволяющий осуществлять аудит операций и анализ инцидентов информационной безопасности [4].

Информационная система обеспечивает полный жизненный цикл обращения абонента, начиная с регистрации запроса и заканчивая его закрытием после подтверждения устранения неисправности. Автоматизированная интеграция с биллинговыми системами и базами данных абонентов позволяет сократить время ввода информации и повысить достоверность данных. Связь с системами мониторинга сетевой инфраструктуры обеспечивает получение актуальных сведений о состоянии оборудования и параметрах соединения.

Классификация инцидентов осуществляется на основе совокупности параметров, включая тип услуги, категорию клиента и потенциальный масштаб воздействия на сеть. Приоритет обращения может определяться алгоритмически посредством взвешенной оценки указанных параметров, что обеспечивает объективность распределения ресурсов технической поддержки

Навигационная структура системы формируется на основе устойчивых пользовательских сценариев. Предсказуемость расположения элементов управления и

единообразие интерфейсных решений обеспечивают формирование стабильной ментальной модели у оператора. Это сокращает время адаптации и повышает эффективность выполнения типовых операций [5].

Особое внимание уделяется оптимизации числа действий, необходимых для достижения результата. Использование автоматического заполнения полей на основе идентификатора абонента и реализация контекстного поиска позволяют сократить временные затраты на обработку обращения. Таким образом, эргономическое обеспечение становится не вспомогательным, а системообразующим элементом проектирования.

В рамках работы было проведено тестирование разработанного веб-приложения с участием группы пользователей, моделировавших деятельность операторов технической поддержки. Участникам предлагалось выполнить типовые сценарии обработки обращений.

В ходе эксперимента фиксировались время выполнения операций и количество ошибок. Результаты показали сокращение среднего времени обработки заявок и снижение числа ошибок по сравнению с традиционным интерфейсным решением.

Таким образом, эксперимент подтвердил эффективность предложенной архитектурной и интерфейсной организации системы.

Заключение. Многоуровневая архитектура обеспечивает масштабируемость и устойчивость системы, а интеграция с корпоративными информационными ресурсами формирует единую цифровую среду управления инцидентами.

Результаты исследования подтверждают, что учет эргономических факторов на этапе проектирования способствует снижению когнитивной нагрузки операторов, уменьшению числа ошибок и повышению эффективности обработки обращений. В условиях роста объема телекоммуникационных услуг подобные системы становятся стратегическим инструментом обеспечения качества обслуживания абонентов и устойчивого развития оператора связи.

Список литературы

1. *Bass, L. Software Architecture in Practice / Len Bass, Paul Clements, Rick Kazman. – 3rd ed. – Boston : Addison-Wesley, 2013. – 624 p.*

2. *Sommerville, I. Software Engineering / Ian Sommerville. – 10th ed. – Boston : Pearson, 2016. – 816 p.*

3. *Fielding, R. T. Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures : Doctoral dissertation / Roy Thomas Fielding. – Irvine : University of California, 2000. – 162 p.*

4. *ISO 9241-210:2019. Ergonomics of human-system interaction – Part 210: Human-centred design for interactive systems. – Geneva : International Organization for Standardization, 2019. – 32 p.*

5. *Newman, S. Building Microservices / Sam Newman. – 2nd ed. – Sebastopol : O'Reilly Media, 2021. – 617 p.*

UDC 004.774:621.395.34

WEB APPLICATION FOR TECHNICAL SUPPORT OF TELECOMMUNICATION OPERATOR SUBSCRIBERS

Anisenko T.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Medvedev O.S. – Senior Lecturer of the Department, Master of Engineering and Technology

Annotation. the paper investigates the architectural principles of system design, the organization of server-side logic and data storage models, as well as mechanisms for integration with external information resources. The study aims to improve the performance of technical support operators and reduce operational risks. The necessity of a comprehensive development approach is substantiated, taking into account the requirements of scalability, fault tolerance, and cognitive load optimization.

Keywords: telecommunications operator, fault tolerance, information system, business process automation

УДК 004.774:656.076.3

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ АРЕНДЫ КАРШЕРИНГА

Антонович Д.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Медведев О.С. – магистр техники и технологии, ст. преподаватель кафедры

Аннотация. Целью проекта является разработка веб-платформы для организации сервиса каршеринга, обеспечивающей удобное бронирование автомобилей, управление поездками и администрирование автопарка. Система реализована с использованием современных веб-технологий и ориентирована на масштабируемость, производительность и удобство использования.

Ключевые слова: каршеринг, веб-приложение, *TypeScript, React, NestJS, PostgreSQL, Prisma, REST API, Yandex Maps API*

Введение. Стремительные тенденции развития городской мобильности направлены на сокращение количества личного транспорта и повышение эффективности использования автомобилей. Одним из наиболее перспективных решений в данной области является каршеринг – краткосрочная аренда автомобилей с поминутной или почасовой оплатой, позволяющая пользователям пользоваться транспортом без необходимости его приобретения и обслуживания [1].

Анализ популярных решений показал, что несмотря на широкое распространение каршеринговых сервисов, многие существующие платформы имеют ряд недостатков. Среди них можно выделить недостаточно удобный пользовательский интерфейс, сложность процесса регистрации и бронирования, ограниченные возможности поиска и выбора автомобилей, а также недостаточную информативность отображения доступного транспорта на карте. Кроме того, некоторые сервисы сталкиваются с проблемами производительности веб-приложений и стабильности работы при увеличении количества пользователей [2].

В связи с этим возникает необходимость разработки современных веб-решений, обеспечивающих удобное взаимодействие пользователя с системой, быстрый поиск доступных автомобилей и эффективное управление процессом аренды.

Объектом разработки является веб-приложение для аренды автомобилей в формате каршеринга, предоставляющее пользователям возможность регистрации, авторизации, поиска доступных автомобилей на карте, бронирования и управления поездками.

В связи с этим возникает необходимость разработки современных веб-решений, обеспечивающих удобное взаимодействие пользователя с системой, быстрый поиск доступных автомобилей и эффективное управление процессом аренды.

Объектом разработки является веб-приложение для аренды автомобилей в формате каршеринга, предоставляющее пользователям возможность регистрации, авторизации, поиска доступных автомобилей на карте, бронирования и управления поездками.

Основная часть. Разрабатываемая система представляет собой клиент-серверное веб-приложение для организации аренды автомобилей. Архитектура системы построена на разделении на клиентскую и серверную части, что обеспечивает гибкость разработки, масштабируемость и удобство сопровождения программного обеспечения.

Клиентская часть (*frontend*) реализована с использованием языка *TypeScript* и библиотеки *React*. Сборка проекта осуществляется с помощью инструмента *Vite*, который обеспечивает высокую скорость компиляции и оптимизацию ресурсов приложения. Использование *TypeScript* позволяет повысить надёжность программного кода за счёт строгой типизации и уменьшения вероятности логических ошибок. Применение библиотеки React обеспечивает компонентный подход к разработке пользовательского интерфейса, что упрощает его дальнейшую модификацию и развитие [3].

Для отображения расположения автомобилей используется *API* сервиса Яндекс.Карты (*Yandex Maps API*). Данный инструмент позволяет интегрировать интерактивную карту в веб-

приложение и отображать доступные автомобили в виде меток с указанием их текущего местоположения [4].

Серверная часть (*backend*) реализована на платформе *Node.js* с использованием фреймворка *NestJS*. Данный фреймворк поддерживает модульную архитектуру приложения и обеспечивает удобную организацию бизнес-логики системы. Взаимодействие между клиентской и серверной частями осуществляется посредством *REST API*.

В качестве системы управления базами данных используется *PostgreSQL*, обеспечивающая надёжное хранение информации о пользователях, автомобилях и поездках. Для взаимодействия с базой данных применяется *ORM Prisma*, которая упрощает работу с моделями данных и обеспечивает типобезопасность запросов.

Общая архитектура разработанной системы представлена на рисунке 1.

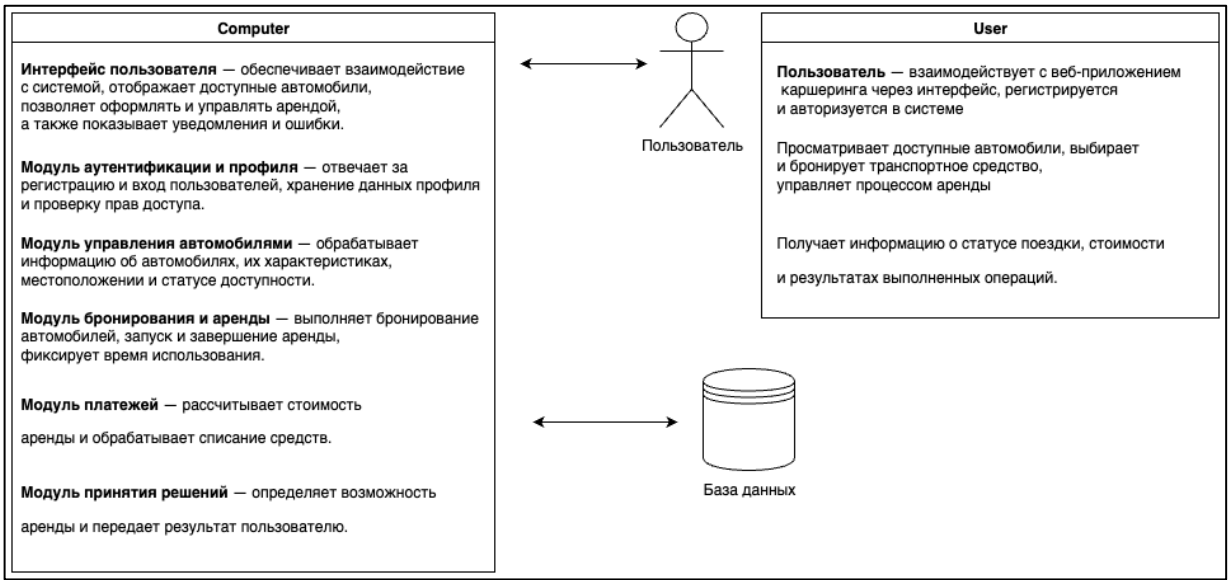


Рисунок 1 – Схема взаимодействия пользователя с системой

Можно выделить основные функциональные модули системы, обеспечивающие ключевые процессы работы каршеринговой платформы. К ним относятся модуль аутентификации пользователей, модуль управления автопарком, модуль бронирования и аренды автомобилей, модуль обработки платежей, а также модуль взаимодействия с пользовательским интерфейсом. Каждый из модулей выполняет определённые функции и взаимодействует с другими компонентами системы, обеспечивая целостность и согласованность работы приложения. Все модули связаны с базой данных, в которой хранится информация о зарегистрированных пользователях, доступных автомобилях, активных бронированиях, истории поездок и выполненных финансовых операциях.

Пользователь взаимодействует с системой через веб-интерфейс, который обеспечивает доступ к основным функциям платформы. С помощью интерфейса пользователь может зарегистрироваться в системе, пройти процедуру авторизации, просмотреть доступные автомобили на карте, получить информацию о транспортном средстве, выбрать подходящий автомобиль и осуществить его бронирование. В процессе аренды система фиксирует время начала и окончания поездки, а после её завершения автоматически рассчитывает стоимость аренды на основе установленного тарифа и сохраняет информацию о выполненной операции в базе данных.

Особое внимание при разработке системы было уделено удобству пользовательского интерфейса, поскольку именно этот аспект во многом определяет эффективность взаимодействия пользователя с сервисом. Для предварительной оценки удобства разработанного интерфейса был проведён опрос среди фокус-группы. В исследовании приняли участие 18 человек, которым был продемонстрирован прототип интерфейса системы и предложено оценить удобство его использования.

Результаты показали, что 61% участников считают интерфейс понятным, 33% оценивают его как достаточно удобный, и только 6 % считают, что интерфейс требует доработки. Кроме того, 72% опрошенных положительно оценили отображение автомобилей на карте, а 67% отметили, что готовы пользоваться подобным сервисом.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что предложенная архитектура и пользовательский интерфейс обеспечивают удобство взаимодействия с системой и позволяют эффективно выполнять основные операции аренды автомобилей.

Заключение. В рамках работы разработана веб-платформа для сервиса каршеринга, реализующая основные функции краткосрочной аренды автомобилей. Использование современных технологий, таких как *TypeScript, React, NestJS* и *PostgreSQL*, позволило создать масштабируемое и структурированное решение с чётким разделением ответственности между компонентами системы.

На основе проведённого опроса можно определить направления дальнейшей модернизации системы. Одним из них является внедрение дополнительных модулей, таких как система онлайн-оплаты, позволяющая пользователям быстро и безопасно оплачивать аренду автомобилей непосредственно через веб-приложение. Также перспективным является использование механизма динамического ценообразования, при котором стоимость аренды может изменяться в зависимости от времени суток, уровня спроса и загруженности автопарка.

Кроме того, развитие системы может включать внедрение модуля аналитики пользовательской активности, позволяющего анализировать поведение пользователей и выявлять наиболее востребованные функции сервиса. Предложенное решение представляет собой завершённую программную платформу, которая реализует основные функции каршерингового сервиса и может служить основой для дальнейшего развития и практического внедрения.

Список литературы

1. *Carsharing Market – Global Forecast and Industry Analysis [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/car-sharing-market-1251.html – Дата доступа: 04.03.2026.*

2. *Технологии и особенности развития сервисов каршеринга [Электронный ресурс]. – Режим доступа https://navneet-singh-https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-i-perspektivy-razvitiya-servisov-karsheringa. – Дата доступа: 04.03.2026.*

3. *Разработка веб-приложений на основе клиент-серверной архитектуры [Электронный ресурс]. – Режим доступнаhttps://cyberleninka.ru/article/n/klient-servernaya-arhitektura-veb-prilozheniy – Дата доступа: 04.03.2026..*

4. *Документация Yandex Maps API для веб-разработчиков [Электронный ресурс]. – Режим доступа https://yandex.ru/dev/maps/jsapi – Дата доступа: 04.03.2026.*

UDC 004.774:656.076.3

WEB APPLICATION FOR CAR SHARING RENTAL

Antonovich D.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Medvedev O.S. – Senior Lecturer of the Department, Master of Engineering and Technology

Annotation. The purpose of this project is to develop a web application for car sharing rental that provides convenient vehicle booking, trip management, and administrative control of the fleet. The system is implemented as a scalable client-server web solution using modern web technologies. The application includes user registration and authentication, administrator approval of accounts, interactive map-based vehicle selection, booking and trip completion functionality, as well as an internal balance payment mechanism. The developed solution ensures reliability, usability, and scalability of the car sharing service.

Keywords: car sharing, web application, vehicle rental, TypeScript, React, NestJS, PostgreSQL, REST API, fleet management.

УДК 004.42:641.5

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ РАБОТЫ ШКОЛЫ ТАНЦЕВ И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Борейко А.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Франко Е.П. – к. т. н., доцент, доцент кафедры ИПиЭ

Аннотация. В статье рассматриваются аспекты проектирования и разработки веб-приложения для автоматизации школы танцев. Описан технологический стек, а также функциональные возможности системы. Особое внимание уделено эргономическому обеспечению разработки, направленному на оптимизацию взаимодействия в системе «человек – компьютер – среда» и снижение когнитивной нагрузки на персонал.

Ключевые слова: автоматизация, веб-приложение, школа танцев, эргономика, *Python, Django, PostgreSQL, Telegram*

Введение. В условиях стремительной цифровизации всех сфер общественной жизни эффективность управления ресурсами и качеством взаимодействия с потребителями услуг становится определяющим фактором конкурентоспособности. Ручное ведение журналов и переписки в различных мессенджерах, перестают отвечать современным стандартам скорости и удобства. Это приводит к потере очень важных сведений в работе и снижению лояльности клиентов, что обуславливает необходимость создания единой цифровой платформы, минимизирующей временные затраты персонала и обеспечивающей удобство пользовательского опыта.

В связи с этим разработка специальных веб-приложений для автоматизации деятельности танцевальных школ приобретает особую значимость. Данные системы позволяют объединить в общей цифровой среде административные, финансовые и учебные вопросы, предоставляя пользователям доступ к актуальным данным о занятости залов, статусе абонементов и онлайн-оплатах в режиме реального времени. В то же время, эффективность таких решений разработки, напрямую зависит от их эргономического обеспечения, поскольку грамотно спроектированный интерфейс позволяет снизить когнитивную нагрузку на персонал и посетителей и повысить мотивацию учеников к регулярному посещению школы.

Разработка веб-приложения для автоматизации работы школы танцев при помощи введение современных онлайн решений является актуальной задачей, отвечающей потребностям современных систем. Использование модульного принципа построения системы обеспечивает её гибкость и адаптивность к изменениям процессов организации, позволяя централизованно управлять расписанием, вести учет клиентской базы и интегрировать внешние сервисы, такие как *Telegram*. Создание такого программного продукта направлено на оптимизацию рабочих процессов и поднятия управления на новый уровень, гарантирующий высокую производительность труда и улучшение качества обслуживания клиентов.

Разрабатываемая система обладает рядом существенных преимуществ перед существующими аналогами. Самое главное преимущество заключается в том, что все рабочие задачи и общение собраны в одной программе. Это избавляет от необходимости постоянно переключаться между множеством разных сервисов и инструментов одновременно, что делает управление всеми процессами в школе танцев намного проще и удобнее.

Возможности для администратора: администратор может полностью управлять всеми рабочими процессами школы. Он имеет доступ к созданию новых танцевальных стилей и добавлению занятий в общее расписание, а также может изменять или удалять существующие записи. В его задачи входит настройка разных видов абонементов, публикация новостей в *Telegram* и на главную страницу школы, а также работа с отчетами по посещаемости учеников для контроля эффективности студии.

Возможности для хореографа: преподаватель получает удобный интерфейс для

просмотра своего личного графика работы и списка предстоящих тренировок. Главная функция хореографа в системе – это отслеживание посещаемости на своих занятиях, что позволяет всегда иметь актуальные данные о наполнении групп в реальном времени.

Возможности для ученика: ученик получает современный личный кабинет с простым входом через *Telegram*. Программа позволяет ему самостоятельно записываться на интересующие уроки, отменять запись и покупать абонементы с быстрой оплатой. Кроме того, ученик может сам отмечать свое присутствие на уроке, следить за накоплением бонусов, просматривать свои «достижения».

Основная часть. Техническая реализация веб-приложения основывается на сочетании современных технологий, обеспечивающих масштабируемость и стабильность веб-приложения для автоматизации работы школы танцев. В качестве основного языка программирования выбран *Python*, обладающий высокой читаемостью кода и широкими возможностями интеграции. Серверная логика построена на базе фреймворка *Django*, использование архитектуры *Model-View-Template* в котором позволяет эффективно разделить ответственность между функциональными подсистемами продукта [1].

Для надежного хранения данных, включая финансовые транзакции и учетные записи, используется реляционная СУБД *PostgreSQL*, выбранная за строгое соответствие стандартам целостности информации. Развертывание системы осуществляется с применением технологии контейнеризации *Docker* [2], что гарантирует изоляцию программной среды и стабильную работу приложения на различных операционных системах независимо от конфигурации сервера.

Разработанное веб-приложение предоставляет широкий спектр функциональных возможностей, объединяющих административные, финансовые и учебные процессы школы танцев в единой цифровой среде. Одной из ключевых функций является автоматизированное управление расписанием, которое позволяет администратору в режиме реального времени корректировать сетку занятий, а преподавателям – оперативно отслеживать свою нагрузку.

Кроме того, система включает в себя модуль управления клиентской базой, ориентированный на повышение качества обслуживания. Ученики могут самостоятельно записываться на интересующие уроки через общее расписание, а также отменять записи в персональном кабинете, что минимизирует количество рутинных запросов к администратору. Для удобства пользователей реализована функция фильтрации педагогов по танцевальным направлениям, обеспечивающая быстрый поиск нужного специалиста.

Еще одной важной составляющей является финансовый блок, обеспечивающий прозрачность расчетов. Реализована возможность покупки различных видов абонементов с мгновенной оплатой. После подтверждения платежа система автоматически активирует доступ к занятиям, что исключает ошибки ручного ввода данных персоналом.

Приложение также предлагает механизмы повышения вовлеченности клиентов через систему лояльности. Пользователям начисляются бонусы за активность, которые можно использовать для частичной оплаты абонементов, а блок личной аналитики позволяет отслеживать прогресс и получать виртуальные «достижения». Такой игровой подход способствует удержанию клиентов и формированию устойчивого интереса к тренировкам.

Дополнительно реализована интеграция с внешними каналами связи. Система использует *Telegram API* для автоматической рассылки уведомлений-напоминаний о предстоящих занятиях, а также для мгновенной трансляции новостей школы из панели управления в официальный канал. Это обеспечивает оперативную связь и высокую информированность всех участников учебного процесса.

Эргономическое обеспечение приложения оказывает большое влияние на эффективность его использования. При разработке интерфейса основное внимание было уделено снижению когнитивной нагрузки на администраторов и хореографов за счет минимизации рутинных операций. Проектирование велось с соблюдением психологических требований к единообразию элементов управления и цветовой кодировке статусов занятий [3].

Распределение функций в проектируемой системе «человек-компьютер» строится на принципе разделения управляющих и исполнительских операций. Этот подход позволяет создать интуитивно понятную и эффективную среду, где пользователь (Администратор, Хореограф, Ученик) и веб-сайт действуют как партнеры для достижения общей цели.

Пользователь является инициатором всех ключевых процессов: определяет свои потребности, задает исходные параметры и критерии для работы. Например, администратор принимает решение о создании нового абонемента, хореограф выбирает время для занятия, а ученик нажимает кнопку «Записаться».

Роль компьютера – исполнительская, операционная и аналитическая. Получив от пользователя задачу и необходимые данные, система берет на себя всю сложную обработку.

Таким образом, каждая функция в системе реализуется через взаимодействие, где человек задает «что делать», а компьютер отвечает на вопрос «как это сделать».

Интерфейс приложения выполнен в соответствии с принципами адаптивного дизайна, что гарантирует корректное отображение контента на любых устройствах – от рабочих станций администратора до смартфонов учеников. Установленные нормативы по скорости отклика (не более 1 секунды) и количеству действий для записи (не более 3 кликов) позволяют пользователям достигать целей с минимальными временными затратами. По результатам комплексной экспертизы интегральный показатель эргономичности системы составил 0,839, что соответствует высокому уровню качества проектирования пользовательского интерфейса.

Заключение. Веб-приложение для автоматизации работы школы танцев объединяет административные процессы в единую цифровую среду. Использование эргономичного интерфейса снижает нагрузку на персонал и оптимизирует управление ресурсами, что повышает качество сервиса и лояльность пользователей.

Список литературы

1. *Django: что за фреймворк и как работает [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://productstar.ru/blog/django-cto-eto-za-freimvork-zacem-on-nuzen-i-kak-rabotaet/. – Дата доступа: 25.01.2026Что такое MySQL [Электронный ресурс]. – Режим доступа https://selectel.ru/blog/mysql/. Дата доступа: 12.02.2026*

2. *Использование диаграммы вариантов использования UML при проектировании программного обеспечения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://habr.com/ru/articles/566218/. Дата доступа: 12.02.2026*

3. *Эргономика взаимодействия человек – система [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://lms.bsuir.by/pluginfile.php/568594/mod_resource/content/1/gost_r_iso_9241-110-2016.pdf/. – Дата доступа: 12.02.2026*

UDC 004.42:641.5

WEB APPLICATION FOR DANCE SCHOOL AUTOMATION AND ITS ERGONOMIC SUPPORT

Boreiko A.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Franko E.P. – Senior Lecturer of the Department of Engineering Psychology and Ergonomics

Annotation. The article discusses the aspects of designing and developing a web application for dance school automation. The technology stack and functional capabilities of the system are described. Special emphasis is placed on the ergonomic support of the development, aimed at optimizing interaction within the «human-computer-environment» system and reducing the cognitive load on personnel

Keywords: automation, web application, dance school, ergonomics, Python, Django, PostgreSQL, Telegram.

УДК 004:339.1+629.33

ВЕБ-СЕРВИС ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ РАБОТЫ АУКЦИОНА ДЛЯ КУПЛИ-ПРОДАЖИ АВТОМОБИЛЕЙ ИЗ-ЗА РУБЕЖА

Борисов Н.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Воробей А.В. – магистр технических наук, ассистент кафедры ИПиЭ

Аннотация. Цель данной работы заключается в разработке веб-сервиса для автоматизации процессов купли-продажи автомобилей на зарубежных аукционах. В работе решаются задачи агрегации данных с различных аукционных площадок, автоматического обновления информации о текущих торгах, а также разработки алгоритмов расчета полной стоимости приобретения автомобиля. Создаваемый веб-сервис обеспечивает прозрачность процесса покупки и снижает временные затраты пользователя на поиск и анализ предложений.

Ключевые слова: веб-сервис, аукцион, купля-продажа

Введение. В условиях цифровой трансформации экономики рынок автомобилей из-за рубежа сталкивается с такими проблемами, как языковые барьеры, сложность мониторинга торгов и недостаточная прозрачность ценообразования, при этом уровень его автоматизации остается низким [1]. В связи с этим разработка веб-сервиса для автоматизации работы международных автомобильных аукционов является актуальной задачей, поскольку его внедрение позволит упростить процедуру покупки, обеспечить пользователей достоверной информацией о торгах, автоматизировать расчет итоговой стоимости и повысить доступность данного сегмента рынка для широкого круга потребителей.

Основная часть. Разрабатываемый веб-сервис предназначен для автоматизации процессов поиска, анализа и отслеживания торговых предложений на зарубежных автомобильных аукционах. Архитектура системы построена с учетом современных требований к функциональности, удобству использования и безопасности обработки данных [2]. Веб-сервис обеспечивает пользователям возможность получения актуальной информации о ходе торгов, просмотра детализированных характеристик лотов, а также автоматизированного расчета итоговой стоимости автомобиля с учетом доставки, таможенных пошлин и иных сопутствующих расходов.

При разработке веб-сервиса были выделены следующие функциональные задачи:

– агрегация данных с зарубежных аукционных площадок (статус лота, текущая ставка, время окончания торгов, история изменений);

– фильтрация и поиск автомобилей по заданным параметрам (марка, модель, год выпуска, пробег, тип двигателя, тип коробки передач, страна нахождения);

– автоматический расчет стоимости приобретения автомобиля с учетом доставки, растаможки и комиссионных сборов;

– сохранение выбранных предложений в личном кабинете пользователя с возможностью сравнения и сортировки.

Клиентская часть веб-сервиса реализована на языке *JavaScript* с использованием фреймворка *React*, а также технологий *HTML* и *CSS* [3]. Серверная часть разработана на платформе *Node.JS* с применением фреймворка *Express* [4]. Для организации хранения данных выбрана реляционная база данных MySQL, среда разработки – *IntelliJ IDEA*.

На этапе проектирования веб-приложения были определены основные функции системы:

– регистрация и авторизация пользователей;

– просмотр списка доступных аукционов (Япония, Корея, США, Европа);

– поиск и фильтрация автомобилей по параметрам (марка, модель, год, пробег, тип двигателя, страна);

– отображение детальной информации по каждому лоту (фото, аукционный лист, оценки,

история ставок);

– отслеживание изменения статуса лота в режиме реального времени;

– автоматический расчет итоговой стоимости автомобиля с учетом цены на аукционе, комиссии аукциона, доставки до порта/границы, таможенных пошлин и сборов и услуг посредника;

– добавление выбранных лотов в «Избранное» для дальнейшего сравнения;

– сравнение нескольких автомобилей по техническим характеристикам и итоговой стоимости;

– просмотр истории завершенных торгов по конкретным моделям автомобилей;

– сохранение истории поиска и просмотренных лотов;

– возможность подписаться на новые поступления по заданным критериям;

– интеграция с калькулятором растаможки для различных стран-импортеров;

– отображение статистики аукционных цен для анализа рыночной ситуации;

– личный кабинет с историей активности и сохраненными расчетами.

Проектирование веб-сервиса осуществлялось с учетом функциональных требований к системе и необходимости обеспечения удобства взаимодействия пользователя с интерфейсом. На начальном этапе были разработаны алгоритмы работы пользователя, описывающие последовательность действий при выполнении основных сценариев: поиск автомобиля, отслеживание торгов, расчет стоимости, добавление в избранное. На основе разработанных алгоритмов построена структурная схема взаимодействия пользователя с веб-сервисом и внешними аукционными источниками.

Для формализации функциональных требований разработана диаграмма вариантов использования, которая определяет границы системы, роли пользователей (зарегистрированный пользователь, гость, администратор) и доступные им функции. На основе диаграммы вариантов использования разработан сценарий информационного взаимодействия пользователя с программным комплексом, детализирующий обмен данными между компонентами системы при выполнении ключевых операций.

На этапе проектирования пользовательского интерфейса разработаны прототипы основных экранов веб-сервиса (главная страница, страница поиска и фильтрации, карточка лота и личный кабинет). Для оценки удобства и эффективности разработанных интерфейсных решений проведена эргономическая оценка пользовательского интерфейса, позволившая выявить и устранить потенциальные проблемы навигации и восприятия информации [5].

На рисунке 1 представлена диаграмма вариантов использования веб-сервиса для автоматизации работы аукциона по купле-продаже автомобилей из-за рубежа.

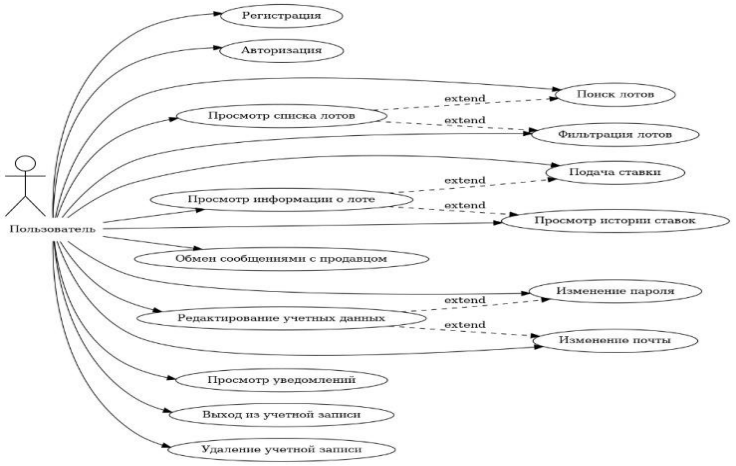


Рисунок 1 – Диаграмма вариантов использования

На рисунке 2 представлены макеты основных страниц веб-сервиса

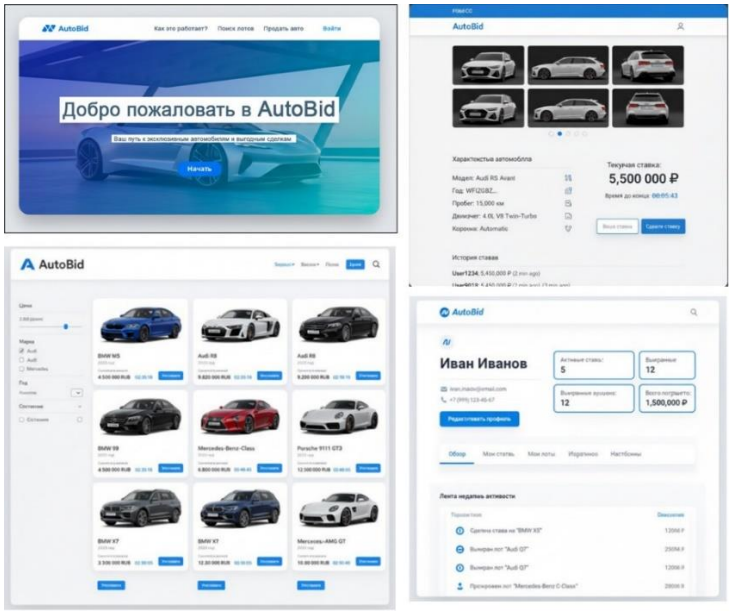


Рисунок 2 – Макеты основных страниц приложения

Заключение. Таким образом, был разработан веб-сервис для автоматизации работы аукциона для купли-продажи автомобилей из-за рубежа. При разработке использованы современные технологии и подходы к проектированию веб-приложений. Все функциональные задачи, поставленные перед системой, реализованы в полном объеме. Результаты эргономической оценки подтверждают соответствие пользовательского интерфейса установленным требованиям к удобству и эффективности взаимодействия.

Список литературы

1. *Цифровая трансформация экономики: пособие / под ред. М. Н. Ковалева. – Минск: БГУИР, 2021. – 234 с.*
2. *Гвоздева, Т. В. Проектирование информационных систем: учеб. пособие / Т. В. Гвоздева, Б. А. Баллодю – Ростов н/Д. : Феникс, 2009. – 508 с.*
3. *React: официальная документация [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://react.dev/. – Дата доступа 04.03.2026.*
4. *Хольцнер, С. Node.js Руководство по разработке полноценных веб-приложений / С. Хольцнер. – М.: Питер, 2023. – 352 с.*
5. *Лаврентинова, Т. В. Проектирование и эргономика пользовательских интерфейсов: учебно-методическое пособие / Т. В. Лаврентинова. – Минск: БГУИР, 2021. – 102 с.*

UDC 004:339.1+629.33

WEB-SERVICE FOR AUTOMATION OF AUCTION OPERATIONS FOR THE PURCHASE AND SALE OF CARS FROM ABROAD

Borisov. N.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Vorobey A. V. – Master of Sci., assistant of the EPE Department

Annotation. The aim of this work is to develop a web service to automate the buying and selling of cars at international auctions. This work addresses the aggregation of data from various auction platforms, automatic updating of information on current auctions, and the development of algorithms for calculating the total purchase prise of a car. The resulting web service ensures transparency of the purchasing process and reduses the user’s time spent searching and analyzing offers.

Keywords: web service, auction, buying and selling

УДК [004.774+379.8]:331.101.1-047.74

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЛИЧНОСТНОГО РОСТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНИК ТАЙМ-МЕНЕДЖМЕНТА И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Бужинский И.И.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Цявловская Н.В. – магистр техн. наук, ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. Низкая эффективность личностного саморазвития часто обусловлена использованием разрозненных инструментов планирования и сопутствующей когнитивной перегрузкой пользователей. Предложена архитектура веб-приложения, интегрирующего техники тайм-драйва в единую цифровую экосистему. Описаны механизмы интеллектуального подбора приоритетов, система геймифицированной мотивации и эргономические подходы к адаптации интерфейса под уровень цифровой грамотности. Внедрение такой платформы позволяет создать структурированную среду для достижения долгосрочных целей и минимизировать барьеры в освоении методик тайм-менеджмента.

Ключевые слова: личностный рост, тайм-менеджмент, эргономика интерфейса, матрица Эйзенхауэра, продуктивность, геймификация.

Введение. В современных условиях избытка информации люди часто сталкиваются с трудностями при переходе от постановки целей к их реализации [1]. Основными причинами являются отсутствие системности, неумение расставлять приоритеты и быстрая потеря мотивации. Существующие решения часто либо слишком просты (списки дел), либо избыточно сложны, что создает высокий порог входа. Попытки использовать универсальные планировщики не решают проблему специфики личностного роста, где важна не только фиксация задачи, но и её связь с глобальными целями и психофизиологическим ритмом пользователя.

Целью настоящей работы является разработка веб-приложения, выступающего в роли персонализированного коуча, который структурирует процесс самосовершенствования на основе научно обоснованных техник тайм-менеджмента и обеспечивает высокий уровень эргономического комфорта.

Основная часть. Предлагаемая система преобразует хаотичный процесс планирования в управляемую базу данных (state) личных достижений. В отличие от стандартных органайзеров, приложение внедряет «интеллектуальный слой», который анализирует задачи и предлагает оптимальный порядок их выполнения, опираясь на алгоритмы тайм-драйва [2].

Для обеспечения информационной безопасности и поэтапного вовлечения пользователей в работу с системой, архитектура веб-приложения базируется на модели ролевого управления доступом (RBAC). Разделение прав позволяет минимизировать когнитивную нагрузку на новых посетителей и обеспечить надежное администрирование платформы.

Архитектура приложения включает три уровня доступа пользователей (таблица 1):

Таблица 1 – Уровни доступа пользователей

Уровень	Наименование	Верификация	Основные права
0	Гость	Не требуется	Просмотр обучающих материалов, изучение описаний техник тайм-менеджмента, ознакомление с возможностями системы
1	Пользователь	Электронная почта, пароль	Создание и управление задачами, использование техник тайм-менеджмента, отслеживание личного прогресса, настройка профиля
2	Администратор	-	Управление базой данных, модерация контента, генерация общей аналитики, техническая поддержка и обработка обратной связи

Одной из ключевых проблем существующих сервисов является высокий порог входа в

методологии тайм-менеджмента. В разработанном приложении реализован модуль контекстного обучения (Micro-learning). Для пользователей уровня «Гость» и начинающих «Пользователей» предусмотрена база знаний.

1 Интерактивные подсказки: при выборе техники (например, матрицы Эйзенхауэра) система предлагает краткий гайд по распределению задач на «срочные» и «важные».

2 База знаний: раздел содержит верифицированные материалы по техникам тайм-драйв Г. Архангельского, методике GTD Д. Аллена и принципам декомпозиции целей.

3 Адаптивный онбординг: система оценивает действия пользователя и, если замечает перегруз в секторе «Срочно/Важно», предлагает пройти краткий обучающий модуль по делегированию.

Для снижения когнитивной нагрузки при регистрации реализован модуль настройки профиля, где пользователь указывает свои цели и предпочтения. Система автоматически формирует «дорожную карту» развития, предлагая тематические планы (например, «Здоровье» или «Карьера») [3]. Ключевым функциональным элементом является интегрированная панель техник. Каждая задача проходит через фильтры метода SMART и классифицируется по матрице Эйзенцаузера.

Алгоритм интеллектуального подбора учитывает дедлайны и категорию задачи, предотвращая накопление «хвостов» через механизм автоматической актуализации и архивации устаревших данных. Особое внимание уделено функции «Помидоро», которая встроена непосредственно в карточку задачи для обеспечения бесшовного перехода от планирования к исполнению.

Центральным узлом взаимодействия пользователя с системой анализа является интерактивный дашборд. Он спроектирован как инструмент визуального мышления, минимизирующий время на интерпретацию данных.

В приложении реализованы следующие типы визуализации:

1 Диаграмма баланса: наглядно отображает прогресс по различным сферам жизни (здоровье, карьера, саморазвитие). Это позволяет избежать «перекоса» внимания и вовремя заметить стагнацию в важных областях.

2 Тепловая карта продуктивности: показывает часы пиковой активности пользователя на основе закрытых циклов «Помидоро». Это помогает интеллектуальному алгоритму рекомендовать наиболее сложные задачи на периоды высокой концентрации.

3 Трекер привычек с динамической фильтрацией: позволяет отслеживать регулярность выполнения задач, визуализируя «цепочки успеха».

Использование дашбордов реализует принцип «обратной связи в реальном времени», что критически важно для поддержания эргономического комфорта: пользователь видит не список букв, а целостную картину своего развития.

Для решения проблемы потери мотивации в систему внедрена многоуровневая геймификация [4], превращающая рутинное планирование в процесс «прокачки» персонажа.

1 Система начисления очков опыта: баллы начисляются не просто за выполнение задачи, а за использование техник.

2 Механика «Стриков»: мотивирует пользователя не прерывать ежедневную активность. Длительная серия выполненных задач открывает доступ к кастомизации интерфейса (новые темы оформления, иконки).

3 Социальное взаимодействие: реализованы «Доски достижений» и возможность совместных задач. Пользователи могут объединяться в группы для достижения общей цели (например, изучение языка), где дашборд группы отображает вклад каждого участника, стимулируя здоровую конкуренцию [5].

Эргономическое обеспечение включает использование шрифтов семейства Roboto (разной насыщенности от Light до ExtraBold) и адаптивную цветовую схему (Dark/Light темы), что снижает зрительную усталость при длительной работе. Техническая реализация базируется на принципах антиалиасинга и box-sizing моделей, обеспечивая единообразие отображения на различных устройствах.

Безопасность и администрирование обеспечиваются многоуровневой верификацией (email) и разграничением прав доступа. Внутренняя база данных хранит информацию в зашифрованном виде, гарантируя конфиденциальность личных планов. Для непрерывного

улучшения системы предусмотрен модуль обратной связи, позволяющий пользователям отправлять предложения по улучшению UX/UI напрямую разработчикам.

Монетизация реализуется через три основных канала:

1 Премиум-доступ: расширенные аналитические отчеты и эксклюзивные шаблоны планов развития.

2 B2B-сектор: корпоративные лицензии для повышения продуктивности сотрудников («цифровой коучинг»).

3 Партнерские сервисы: интеграция с образовательными платформами и фитнес-приложениями.

Заключение. Разработанная структура веб-приложения позволяет эффективно решать задачи личностного роста за счет интеграции техник тайм-менеджмента в удобную цифровую форму. Разделение пользователей на 3 уровня доступа обеспечивает логичный путь освоения системы – от ознакомления с теорией (Гость) до полнофункционального управления собственной продуктивностью (Пользователь).

Список литературы

1. *Arkhangelsky, G. A. Time Drive: How to Manage to Live and Work. – Moscow: Mann, Ivanov and Ferber, 2024. – 272 p.*
2. *Covey, S. R. The 7 Habits of Highly Effective People: Powerful Lessons in Personal Change. – Moscow: Alpina Publisher, 2023. – 396 p.*
3. *Norman, D. The Design of Everyday Things. – Moscow: Mann, Ivanov and Ferber, 2018. – 384 p.*
4. *Werbach, K., Hunter, D. For the Win: How Game Thinking Can Revolutionize Your Business. – Philadelphia: Wharton Digital Press, 2012.– 148 p.Nielsen, J., Loranger, H. Prioritizing Web Usability. – Moscow: Williams, 2009. – 368 p.*
5. *Allen, D. Getting Things Done: The Art of Stress-Free Productivity. – Moscow: Mann, Ivanov and Ferber, 2022. – 352 p.*

UDC [004.774+379.8]:331.101.1-047.74

WEB APPLICATION FOR EFFECTIVE RESOLUTION OF PERSONAL GROWTH TASKS USING TIME MANAGEMENT TECHNIQUES AND ITS ERGONOMIC SUPPORT

Buzhinsky I.I.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

N.V. Tsyavlovskaya, M.Sc. (Eng.), Senior Lecturer, Department of Engineering Psychology and Ergonomics

Annotation. The problem of low efficiency in personal self-development due to the use of fragmented planning tools and user cognitive overload is widespread. This paper proposes the architecture of a web application that integrates «Time-Drive» techniques into a single digital ecosystem. It describes mechanisms for intelligent priority selection, a gamified motivation system, and ergonomic approaches to adapting the interface to the user's level of digital literacy. It is substantiated that the implementation of such a platform allows for the creation of a structured environment for achieving long-term goals and minimizes barriers to mastering time management methodologies.

Keywords: personal growth, time management, time-drive, interface ergonomics, Eisenhower Matrix, productivity, gamification.

УДК 628.46, 004

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВЕБ-РЕСУРСА ОБЩЕСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ: АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ И РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ ДЛЯ САЙТА GREENCROSS.BY

Фролов М.А., Говор Г.Г.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Камлач В.И. – магистр технических наук, ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. В работе проведён анализ сайта общественной организации greencross.by, выявлены ключевые проблемы юзабилити и технической реализации, разработано исходное техническое задание и его согласованная с заказчиком версия. Результат – готовый к реализации проект современного, адаптивного и функционального веб-ресурса, ориентированного на прозрачность, удобство и эффективное взаимодействие с аудиторией.

Ключевые слова: сайт, анализ, экология, адаптивность, благотворительность, WordPress, дизайн, юзабилити, навигация, контент

Введение. В рамках данной работы проведён комплексный анализ сайта общественной организации «Белорусский зелёный крест» (https://www.greencross.by/), выявлены критические и второстепенные недостатки, затрудняющие взаимодействие пользователей с ресурсом. На основе полученных данных разработано техническое задание на модернизацию сайта, которое впоследствии было согласовано и скорректировано совместно с заказчиком. Целью исследования являлось не только документирование существующих проблем, но и выработка чёткого, структурированного и реализуемого плана действий по созданию современного, функционального и доступного веб-ресурса.

Вся детальная информация – включая полный аналитический отчёт, первоначальный вариант технического задания и его согласованную с заказчиком редакцию – приведена в приложениях к настоящей работе.

Диагностика текущего состояния сайта. Анализ проблем сайта greencross.by проводился в период с 10 по 13 октября 2025 года. В результате были выявлены как критические, так и второстепенные недостатки, которые в совокупности формируют негативное впечатление у посетителя и снижают эффективность сайта как инструмента коммуникации.

Критической проблемой стала неэффективная система пожертвований. Пользователю предлагается выбрать одну из четырёх фиксированных сумм (10, 20, 50 или 100 BYN), при этом отсутствует возможность ввода произвольной суммы и оформления регулярных (ежемесячных) взносов. Учитывая, что сбор средств – одна из ключевых функций сайта, такая ограниченность напрямую снижает конверсию и препятствует гибкому взаимодействию с благотворителями.

Помимо этого, были зафиксированы следующие недостатки: устаревший визуальный стиль главной страницы с низкокачественными изображениями и примитивными эффектами, хаотичное расположение информации в разделе «О нас», неструктурированный футер, дублирование пунктов фильтров в галерее (например, «Экология» и «ecology»), а также несогласованность брендинга между русскоязычной и англоязычной версиями сайта. Все эти факторы в совокупности формируют не очень приятное первое впечатление о сайте, что впоследствии может повлиять на пожертвованиях.

Наиболее серьёзной проблемой признано полное отсутствие адаптивного дизайна. Сайт не приспособлен для просмотра на мобильных устройствах: текст отображается в мелком кегле, кликабельные элементы имеют недостаточный размер для касаний, а навигационное меню не трансформируется под мобильный формат. Это приводит к невозможности комфортного использования ресурса значительной частью аудитории, что противоречит базовым принципам современной веб-разработки. На рисунке 1 предоставлен скриншот.



Рисунок 1 – Отображения сайта на мобильных устройствах

Разработка технического задания [1]. На основе результатов диагностики составлено техническое задание, в котором детально описаны все аспекты будущего сайта. Документ включает:

1 Карту сайта, предусматривающую логически выстроенные разделы: «Главная», «О нас» (с подразделами), «Новости» (с тематическими категориями), «Проекты», «Ресурсы», «Поддержать» и «Контакты».

2 Перечень изменений, напрямую коррелирующий с выявленными проблемами: реализация адаптивного дизайна, создание гибкой формы пожертвований с полем «Другая сумма» и опцией регулярных платежей, унификация брендинга, структурирование контента в виде карточек.

3 Технические требования: использование платформы WordPress, настройка автоматических резервных копий, реализация ролевой модели, настройка SMTP для отправки писем, обеспечение базовой SEO-оптимизации и безопасности.

4 Детализацию наполнения каждой страницы, включая структуру карточек проектов, формат отчётов и требования к галерее.

5 Конкретные визуальные требования: цветовая палитра (#7FBF7F, #7FBFE0, #333333), типографика (без засечек, размер от 16 px), пропорции изображений (16:9), трёхколоночный футер на тёмном фоне.

ТЗ представляет собой логически завершённый и реализуемый план, нацеленный на устранение всех выявленных недостатков и создание современного, удобного и прозрачного веб-ресурса.

Согласование и корректировка технического задания с заказчиком. После представления

исходного ТЗ заказчику последовал этап обсуждения и уточнения. В результате совместной работы документ был скорректирован с учётом стратегических приоритетов и операционных особенностей организации. Наиболее значимые изменения коснулись следующих аспектов:

1 Навигационная структура: порядок пунктов основного меню был изменён на следующий: «Новости» → «О нас» → «Проекты» → «Ресурсы» → «Поддержать» → «Контакты». Это отражает акцент организации на информационной и просветительской деятельности.

2 Функционал пожертвований: вместо единой формы с опцией выбора типа платежа предложено использовать две отдельные, крупные кнопки: «Пожертвовать разово» и «Подписаться ежемесячно», сопровождаемые числовым полем ввода суммы. Такой подход повышает ясность и снижает когнитивную нагрузку на пользователя.

3 Структура футера: он должен быть реализован в виде сетки карточек (div-блоков) и включать не только стандартные элементы (соцсети, контакты, правовая информация), но и указание экстренного контакта для оперативной связи – важное требование для организации, работающей в социальной сфере.

4 Архитектура контента: все элементы сайта (кроме специализированных виджетов) должны быть реализованы как независимые, переиспользуемые карточки с единой CSS-сеткой. Это упрощает дальнейшую поддержку и масштабирование ресурса.

5 Интеграция с ЕРИП: в ходе обсуждения было подчёркнуто, что система пожертвований должна учитывать особенности взаимодействия с национальной системой расчётов.

Эти коррективы, внесённые на основе диалога с заказчиком, значительно повысили практическую ценность и точность технического задания, сделав его не просто теоретическим документом, а рабочим инструментом для команды разработчиков.

Список литературы

1. *Как создать техническое задание проекта [Электронный ресурс] // Практикум от Yandex. – 2025. – URL: https://practicum.yandex.ru/blog/kak-sostavit-tehnicheskoe-zadanie/ (дата обращения: 01.01.2026).*

UDC 628.46

IMPROVING A PUBLIC ORGANIZATION'S WEBSITE: ANALYZING PROBLEMS AND DEVELOPING TECHNICAL SPECIFICATIONS FOR THE GREENCROSS.BY WEBSITE

Frolov M.A., Govor G.G.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Kamlach V.I. – Senior Lecturer of the Department of EPE, Master of Engineering Sciences

Annotation. The project analyzed the website of the public organization greencross.by, identified key usability and technical implementation issues, and developed initial technical specifications and a version approved by the client. The result is a ready-to-implement project for a modern, responsive, and functional web resource focused on transparency, convenience, and effective engagement with the audience.

Keywords: website, analysis, task, adaptability, charity, WordPress, design, usability, navigation, content

УДК 004.056.53

СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОГО ОБМЕНА И УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ К КОРПОРАТИВНЫМ ДОКУМЕНТАМ

Гичан А.Р.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Бобровничая М.А. – ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. В работе рассматривается разработка системы безопасного обмена и управления доступом к корпоративным документам с использованием современных криптографических методов. Целью является обеспечение конфиденциальности, целостности и подлинности информации при хранении и передаче файлов. Особое внимание уделяется ролевой модели доступа, контролю версий и аудиту действий пользователей.

Ключевые слова: безопасный обмен, управление доступом, криптография, ролевая модель, контроль версий, аудит действий, *Django*, *Next.js*, *PostgreSQL*, *AES*, *RSA*

Введение. Задача обеспечения безопасного хранения и обмена файлами возникла с появлением Интернета. Основное внимание уделяется защите данных при хранении на сервере с помощью шифрования, разграничения доступа и физической защиты. Безопасность передачи файлов обычно обеспечивается протоколом *HTTPS*, объединяющим *HTTP* и *SSL/TLS*. Протокол предполагает обязательную аутентификацию сервера, тогда как аутентификация клиента осуществляется по имени и паролю. Надежность такой аутентификации определяется длиной, сложностью и сменой паролей. Примерами средств обмена данными являются облачные хранилища, мессенджеры и электронная почта [1].

Однако эти средства не всегда обеспечивают необходимый уровень безопасности и удобства. Возможны ограничения по типу и размеру файлов, а также по объему хранилища. Использование ссылок повышает риск утечки информации, а ошибки пользователей могут привести к несанкционированному доступу. Кроме того, защита реализуется преимущественно на этапе передачи данных, тогда как безопасность хранении может быть недостаточной. Таким образом, возникает необходимость разработки специализированных систем, обеспечивающих конфиденциальность, целостность и подлинность информации.

Основная часть. В основе безопасного хранения и обмена файлами в сети Интернет лежат методы современной криптографии. В зависимости от задач и условий работы различают симметричные, асимметричные и комбинированные криптосистемы шифрования.

В симметричных криптосистемах используется один секретный ключ для шифрования и расшифрования. Данные криптосистемы характеризуются высокой скоростью шифрования и обеспечивают конфиденциальность, подлинность и целостность данных. Целостность достигается присоединением к данным специального кода (имитовставки). Асимметричные системы используют пару ключей: открытый для шифрования и секретный для расшифрования. Отправитель зашифровывает сообщение открытым ключом получателя, а расшифровать его может только владелец секретного ключа. Преимуществами таких систем являются решение проблемы распределения ключей и возможность взаимодействия не доверяющих сторон. К недостаткам относятся более низкая скорость работы и необходимость защиты открытых ключей от подмены.

Комбинированный подход сочетает преимущества обеих криптосистем. Симметричный алгоритм шифрует исходный текст, а ассиметричный – сеансовый ключ. Отправитель шифрует сообщение симметрично, затем зашифровывает сеансовый ключ открытым ключом получателя, который расшифровывает его своим секретным ключом и затем расшифровывает сообщение [2]. В разработанной системе был выбран именно комбинированный подход, объединяющий высокую скорость симметричного шифрования и безопасность передачи ключей. Для реализации такого подхода были выбраны алгоритмы *AES* и *RSA*. *AES* используется для симметричного шифрования, *RSA* для асимметричного.

Алгоритм *AES* представляет блок данных в виде двухмерного байтового массива и

выполняет несколько раундов преобразований: *ByteSub*, *ShiftRow*, *MixColumn* и *AddRoundKey*. Расшифрование выполняется обратными операциями. *AES* обеспечивает высокую скорость шифрования и минимальные требования к ресурсам. Алгоритм *RSA* основан на сложности факторизации больших чисел и использует пару ключей: открытый и секретный. Алгоритм эффективен для небольших сообщений, но значительно медленнее симметричных систем [2].

Для реализации системы была выбрана клиент-серверная архитектура. Серверная часть разработана с использованием *Django*, что позволило реализовать *API*, управление пользователями и хранение метаданных документов. Для хранения информации о документах, пользователях и ключах используется *PostgreSQL*, обеспечивающая надежность и поддержку сложных запросов. На рисунке 1 представлена структурная схема разработанной системы.

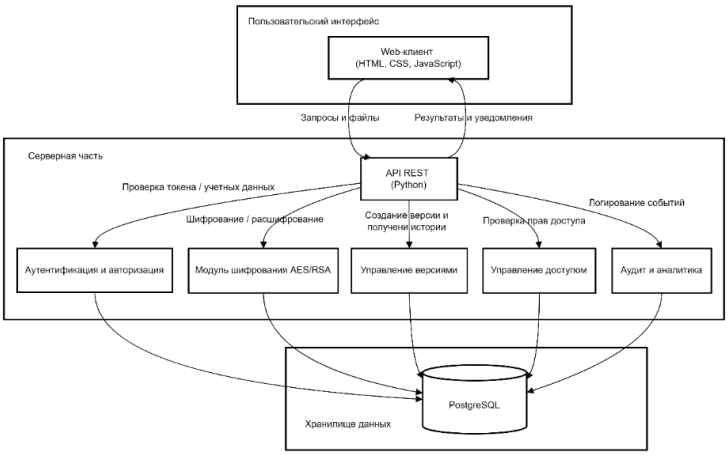


Рисунок 1 – Структурная схема системы обеспечения безопасного обмена и управления доступом к корпоративным документам

Для обеспечения надежности работы с документами реализован механизм контроля версий, дополняющий криптографическую защиту и позволяющий сохранять историю изменений, возвращаться к предыдущим версиям и определять автора изменений. Системы контроля версий широко используются в разработке программного обеспечения, а также при работе с большим количеством изменяющихся электронных документов [3].

При проектировании системы также необходимо было определить модель разграничения прав пользователей. Среди моделей политики безопасности традиционно выделяют дискреционную и мандатную. Дискреционная модель предполагает управление доступом субъектов к объектам через матрицу прав, а мандатная основана на присвоении субъектам и объектам классификационных меток, определяющих правила доступа. Однако существует также и ролевая модель, которая сочетает элементы обеих моделей и предполагает управление доступом через назначение ролей пользователям и соответствующих им прав [4]. В разработанной системе реализована ролевая модель, обеспечивающая централизованное администрирование прав и эффективное управление доступом к документам.

Для повышения безопасности в системе реализован механизм аудита действий пользователей. Все операции с документами и события фиксируются в журнале аудита, на основе которого формируется профиль. Он сравнивается с шаблоном нормального поведения, что позволяет выявлять аномалии и несанкционированные действия пользователей [5].

Клиентская часть системы реализована на основе *Next.js* и обеспечивает современный пользовательский интерфейс, удобный доступ к документам, их версиям и журналу аудита. Для визуализации работы с документами и результатами аудита предусмотрены динамические элементы и таблицы для наглядного представления информации. Интерфейс страницы управления документами представлен на рисунке 2.

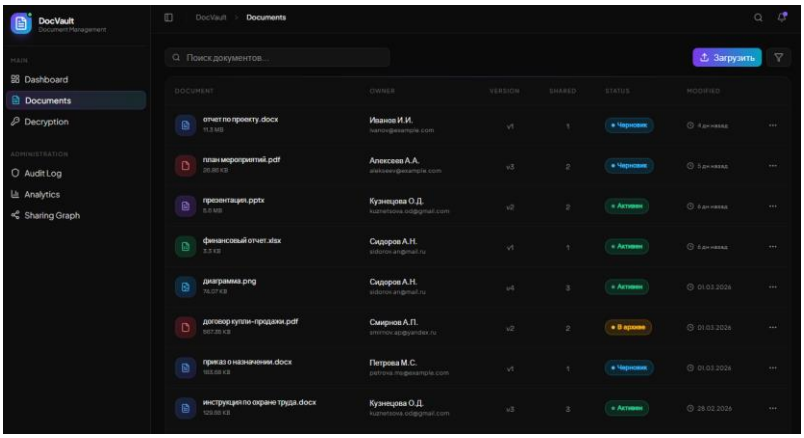


Рисунок 2 – Пользовательский интерфейс страницы управления документами

Взаимодействие клиента и сервера осуществляется через *REST API*, что позволяет фронтенду отправлять зашифрованные файлы, получать сеансовые ключи и актуальные версии документов, а также выполнять проверку прав доступа. Такой подход обеспечивает гибкость системы, масштабируемость и возможность интеграции с внешними сервисами.

Заключение. Разработанная система демонстрирует возможность интеграции современных криптографических методов с механизмами управления доступом и анализа активности пользователей. Применение комбинированного шифрования *AES* и *RSA* позволило объединить высокую скорость обработки данных с безопасной передачей ключей. Клиент-серверная архитектура обеспечивает гибкость взаимодействия пользовательского интерфейса и модуля обработки данных, а также централизованное хранение документов и управления их версиями. Ролевая модель доступа и аудит формируют контролируемую среду, позволяющую отслеживать действия пользователей. Таким образом, предложенный подход показывает эффективность сочетания криптографии, контроля версий и анализа активности при создании систем безопасного обмена документами в корпоративной среде.

Список литературы

1. *Хорев П.Б., Лосев Д.А. Безопасный обмен файлами на основе сетей доверия и сертификатов открытых ключей с помощью разработанного приложения // Программные продукты и системы. 2024. Т. 37. № 2. С. 230–237.*

2. *Информационная безопасность компьютерных систем и сетей: учебное пособие / В.Ф. Шаньгин. – Москва: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2020. – 416 с.*

3. *Васильева М.А. Система контроля версий. Основы командной разработки: учебное пособие / М.А. Васильева, К.М. Филипченко. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 144 с.*

4. *Информационная безопасность и защита информации: учебное пособие / В.П.Мельников, С.А.Клейменов. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 336 с.*

5. *Браницкий А.А., Котенко И.В. Анализ и классификация методов обнаружения сетевых атак.*

UDC 004.056.53

SYSTEM FOR SECURE EXCHANGE AND ACCESS MANAGEMENT TO CORPORATE DOCUMENTS

Gichan A.R.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Bobrovnichaya M.A. – senior lecturer at the department of EPE

Annotation. This paper examines the development of a system for secure exchange and access management of corporate documents using modern cryptographic methods. The goal is to ensure the confidentiality, integrity, and authenticity of information during file storage and transmission. Particular attention is paid to the role-based access model, version control, and user activity auditing.

Keywords: secure exchange, access control, cryptography, role-based model, version control, action auditing, Django, Next.js, PostgreSQL, AES, RSA

УДК 004.382.76:37.091.212.5-052

ВЛИЯНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАДЖЕТОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТУДЕНТОВ

Канунникова В.В., Майданюк А.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Карпович Е. Б. – магистр техники и технологии, ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. Проведено эмпирическое исследование влияния использования гаджетов на эффективность учебной деятельности студентов. Определены типичные для респондентов паттерны взаимодействия с гаджетами. Представлены результаты корреляционного анализа, характеризующие влияние использования гаджетов на концентрацию внимания в процессе учебной деятельности студентов. Выявлено, что ключевым фактором снижения концентрации внимания, является не время использования, а определенная зависимость от устройства. Подчеркивается значимость развития у учащихся навыков саморегуляции и осознанной цифровой гигиены.

Ключевые слова: концентрация внимания, паттерны взаимодействия с гаджетами, самоконтроль, учебная деятельность студентов.

Введение. Цифровые технологии определяют в значительной степени способы коммуникации, досуга и, что наиболее важно для данного исследования, образовательного процесса. Студенты высших учебных заведений являются активными пользователями мобильных устройств. Их активное использование в образовательном процессе создает парадоксальную ситуацию, так как гаджеты являются инструментом для поиска знаний, при этом выступают мощным фактором отвлечения, снижая эффективность учебной деятельности [1, 2].

В исследовании анализируется влияние цифровых устройств на учебную деятельность студентов. Цель работы – определить влияние использование мобильных устройств на уровень критического восприятия информации [3], концентрацию внимания. Изучены как субъективные оценки учащихся, так и объективные взаимосвязи между временем использования смартфона и эффективностью. В результате проведённого исследования выявлено влияние на эффективность учебной деятельности студентов, связанную с концентрацией и способностью к самоконтролю.

Основная часть. Для изучения влияния цифровых устройств на образовательный процесс был проведен опрос среди студентов белорусских высших учебных заведений. Разработана анкета, включающая пять содержательных блоков. Первый блок – информация о респондентах: пол, возраст и курс обучения. Второй блок опросника позволил выявить паттерны взаимодействия с устройством, а именно общее время и типичные ситуации использования, а также основные причины обращения студентов к смартфону. Третий блок, «Самоконтроль и цифровые привычки», был направлен на диагностику поведенческих стратегий. Респондентам предлагалось оценить по 5-балльной шкале Лайкерта, насколько у них сформированы правила использования смартфона, присутствует ли привычка отключать уведомления, насколько часто использование носит автоматический характер и возникает ли трудность при необходимости работать без телефона. Блок «Влияние смартфона на учебу», был реализован также с использованием шкалы Лайкерта и позволил получить субъективные оценки респондентов степени отвлечения на гаджет во время занятий, сложность с сосредоточением при его наличии, а также частоты обращения к специальным инструментам самоограничения, таким как блокировщики и таймеры. Пятый блок – «Учебная продуктивность», направлен на самооценку собственной концентрации внимания и общую оценку субъективного влияния смартфона на учебную деятельность.

Выборка составила 100 человек, студентов 2–4 курсов.

Для обработки данных были использованы методы описательной статистики, а именно среднее значение, медиана, стандартное отклонение, а также корреляционный анализ

Спирмена для выявления взаимосвязей между исследуемыми параметрами.

Анализа результатов опросника свидетельствует о высокой степени интеграции гаджетов в повседневную деятельность студентов. Так, 64% респондентов используют мобильные устройства от 4 часов до 8 часов ежедневно, при этом лишь 3% опрошенных используют мобильное устройства менее 2 часов в день. В вечернее время наблюдается наибольшая активность использования телефонов, она составляет приблизительно 84%. Это может быть связано с завершением учебной деятельности и наличием свободного времени у студентов.

Наиболее популярными видами активности при использовании смартфона являлись социальные сети – 35%, общение (мессенджеры, звонки) – 30%) и развлечения (видео, фильмы, игры) – 14%. Из этого можно сделать вывод, что большая часть времени уходит не на учебные задачи, а на коммуникацию и развлечения респондентов.

Для описания полученных данных были использованы среднее значение, медиана и стандартное отклонение, поскольку именно эти показатели позволяют наиболее полно охарактеризовать распределение ответов студентов по шкале Лайкерта (таблица 1) [4].

Таблица 1 – Средние показатели цифровых привычек и влияния на учебу

Показатель	**Среднее**	**Медиана**	**Стандартное отклонение**
Собственные правила использования	2,72	3	1,22
Отключение уведомлений	3,08	3	1,49
Использование телефона автоматически	3,14	3	1,30
Трудность отказаться во время работы	2,77	3	1,35
Отвлечение уведомлениями	2,56	2	1,30
Трудность отложить телефон	2,58	2	1,38
Просмотр соцсетей при работе	2,85	3	1,20

Средние значения по шкале Лайкерта (от 2,2 до 2,8) показывают, что студенты испытывают умеренные трудности с концентрацией, а именно их отвлекают уведомления, а телефон сложно отложить, что заметно влияет на учёбу. При этом показатели автоматического использования и просмотра соцсетей во время занятий выше среднего – студенты часто тянутся к телефону без осознанной необходимости в развлекательных целях.

Стандартные отклонения (1,2–1,5) указывают на значительное разнообразие привычек. 40% студентов дисциплинирована: они ограничивают использование, отключают уведомления и соблюдают правила. Оставшиеся 60% регулярно отвлекаются, действуют автоматически и с трудом концентрируются. Это подтверждает, что влияние смартфона на эффективность индивидуально и зависит от уровня самоконтроля.

Для выявления статистических взаимосвязей между временем использования смартфона и поведенческими характеристиками, такими как концентрация, сосредоточенность и самоконтроль, был проведен корреляционный анализ Спирмена, позволяющий определить наличие связи между переменными и степень ее выраженности [5]. Анализ позволил выделить три наиболее выраженные зависимости, имеющие наибольшие абсолютные значения коэффициента ρ (таблица 2).

Таблица 2 – Результаты корреляционного анализа Спирмена

Пара переменных	**ρ (коэфф. Спирмена)**	**Интерпретация силы и направления связи**	**Значение для студентов**
Трудность отложить телефон – концентрация внимания	-0,56	умеренная/сильная отрицательная	Зависимость от смартфона значительно снижает концентрацию и эффективность.

Продолжение таблицы 2

Пара переменных	**ρ (коэфф. Спирмена)**	**Интерпретация силы и направления связи**	**Значение для студентов**
Время использования гаджетов – трудность отложить телефон	0,39	умеренная положительная	Активное использование смартфона связано с формированием привычки, труднее удержаться от использования.
Время использования гаджетов – периодические проверки телефона	0,37	умеренная положительная	Чем больше времени, тем труднее удержаться от привычки постоянно проверять телефон.

Наиболее сильная связь выявлена между трудностью отказа от смартфона и уровнем концентрации (ρ = -0,56). Это позволяет утверждать, что именно сформированная зависимость от мобильных устройств оказывает решающее влияние на снижение учебной эффективности. Установлены также две умеренные связи: чем больше времени студент проводит со смартфоном, тем труднее ему отложить его во время работы (ρ = 0,39) и тем чаще он испытывает потребность в его периодических проверках (ρ = 0,37).

Заключение. Проведенное исследование выявило противоречие в цифровом поведении студентов. С одной стороны, они осознают негативное влияние гаджетов, а именно способствуют отвлечению внимания и сложности с концентрацией, но с другой – демонстрируют слабый поведенческий контроль. Хотя большинство опрошенных проводит с гаджетами от 4 до 8 часов ежедневно, используя их в основном для общения и развлечений, именно автоматическое, неосознанное обращение к телефону, а не само по себе время использования, становится ключевым фактором снижения учебной эффективности.

Наиболее сильная обратная связь была зафиксирована между трудностью отложить телефон и уровнем концентрации (ρ = -0,56): чем сильнее зависимость от гаджета, тем ниже способность сосредоточиться на учебе. При этом формальные меры самоконтроля оказались малоэффективны, что говорит о необходимости смещения фокуса с внешних ограничений на развитие у студентов осознанной цифровой гигиены и навыков саморегуляции.

Список литературы

1. *Анализ влияния гаджетов на студентов: благоприятные и негативные аспекты [Электронный ресурс]. – https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-vliyaniya-gadzhetov-na-studentov-blagopriyatnye-i-negativnye-aspekty/viewer.*

2. *The impact of electronic gadgets on the academic achievements of university students [Электронный ресурс]. – https://jmhorizons.com/index.php/journal/article/view/346.*

3. *Критическое мышление: что это, в чем суть, когда и кому оно пригодится [Электронный ресурс]. – https://practicum.yandex.ru/blog/chto-takoe-kriticheskoe-myshlenie/.*

4. *Likert Scale: оценка мнений респондентов [Электронный ресурс]. – https://webask.io/glossary/likert-scale*

5. *Коэффициент ранговой корреляции Спирмена [Электронный ресурс]. – https://www.psychol-ok.ru/statistics/spearman/*

UDC 004.382.76:37.091.212.5-052

THE IMPACT OF USING GADGETS ON THE EFFECTIVENESS OF STUDENTS' LEARNING ACTIVITIES

Kanunnikava V.V., Maidaniuk A.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Karpovich E. B. – senior lecturer at the department of EPE

Annotation. An empirical study of the impact of the use of gadgets on the effectiveness of students' learning activities has been conducted. The patterns of interaction with gadgets typical for the respondents have been identified. The results of the correlation analysis are presented, characterizing the influence of the use of gadgets on the concentration of attention in the process of students' learning activities. It has been revealed that the key factor in reducing concentration is not the time of use, but a certain dependence on the device. The importance of developing students' self-regulation skills and conscious digital hygiene is emphasized.

Keywords: concentration of attention, patterns of interaction with gadgets, self-control, students' learning activities.

УДК 004.42:625.748.56

ДЕСКТОПНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПОМЕЩЕНИЯ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРА И АНАЛИЗА РАБОТЫ ПОЖАРНЫХ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ

Лукашевич А.Д., Тукайло М.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель -Телеш И.А. – к.г.н, доцент, доцент кафедры ИПиЭ

Аннотация. Разработано программное обеспечение для оценки пожарной безопасности помещения на основе моделирования распространения опасных факторов пожара и расчета времени срабатывания пожарных извещателей.

Ключевые слова: пожарная безопасность, тепловой извещатель, дымовой извещатель, десктопное приложение, C++, фреймворк Qt.

Введение. Современные требования пожарной безопасности предполагают применение обоснованных расчетных методов при проектировании систем пожарной сигнализации, [1]. Для повышения точности проектирования необходимо использовать инструменты, позволяющие моделировать распространение опасных факторов пожара и прогнозировать их динамику на основе физических закономерностей, что подробно рассматривается в современных методиках аналитического моделирования пожара [2].

В связи с этим разработано десктопное приложение, включающее математические модели распространения дыма и теплового потока на основе формулы общего времени срабатывания извещателей, алгоритмы сравнения расчётных значений с нормативными требованиями, проверки правильности размещения извещателей и автоматической оптимизации их расположения.

Интеграция этих алгоритмов с удобным графическим интерфейсом обеспечивает объективную оценку пожарной безопасности помещения, снижает риск инженерных ошибок и повышает практическую ценность разработанного программного обеспечения.

Основная часть. Для расчета времени срабатывания пожарных извещателей. на основе физических факторов, определяющих распространение опасных явлений пожара – скорости движения дыма и теплового потока выведена формула с учетом параметров извещателей (тип – дымовой или тепловой, время задержки срабатывания) и позволяют математически описать процесс обнаружения возгорания системой пожарной сигнализации.

Общее время срабатывания системы пожарной сигнализации определяется суммой временных компонентов [1]:

$$T_{\text{ср}} = T_{\text{распр}} + T_{\text{изв}} + T_{\text{обр}} \quad (1)$$

где:

$T_{\text{распр}}$ – время распространения опасных факторов пожара (дыма или теплового потока) от очага горения до извещателя,

$T_{\text{изв}}$ – время срабатывания чувствительного элемента извещателя,

$T_{\text{обр}}$ – время обработки и передачи сигнала приемно-контрольной аппаратуре и системе оповещения.

Функциональные возможности десктопного приложения позволяют выполнить:

1 Расчет времени срабатывания пожарной сигнализации (включая определение времени достижения дымом пожарных извещателей; расчет времени прогрева воздуха до температуры срабатывания извещателя; расчет времени срабатывания тепловых и дымовых извещателей; оценка времени обнаружения пожара системой на основе расчётных данных и сравнение его с нормативными требованиями).

2 Расчет необходимого количества извещателей для помещения (включая проверку

правильности расположения пожарных извещателей; контроль соблюдения нормативных расстояний с помощью расчета времени срабатывания извещателя и сравнение его с нормативным; анализ полноты охвата помещения зонами контроля).

3 Моделирование различных сценариев возникновения пожарной опасности помещения: (включая анализ эффективности разработанной системы при разных местах возгорания, а также оценку влияния изменения параметров помещения).

Для разработки программы выбран язык программирования C++. Его объектно-ориентированный подход позволяет инкапсулировать данные в классы, обеспечивая четкую структуризацию кода и безопасность данных. Для создания графического интерфейса пользователя применяется фреймворк Qt, который включает обширную библиотеку виджетов, инструменты и механизмы для организации взаимодействия между компонентами десктопного приложения.

Основные диалоговые окна десктопного приложения для оценки пожарной безопасности помещения представлены на рисунке 1.

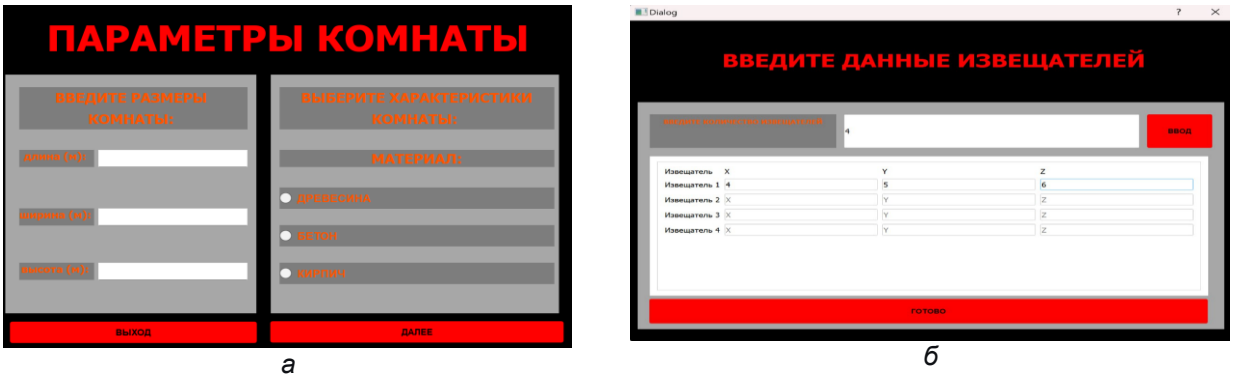


Рисунок *1 – Диалоговые окна десктопного приложения для оценки пожарной безопасности помещения: а) Диалоговое окно ввода параметров помещения, б) Диалоговое окно ввода дополнительных параметров*

На рисунке 2 представлены диалоговые окна анализа результатов, отражающие итоговые данные вычислений, текстовые пояснения и графическую визуализацию, что делает анализ состояния пожарной безопасности наглядным и удобным для пользователя.

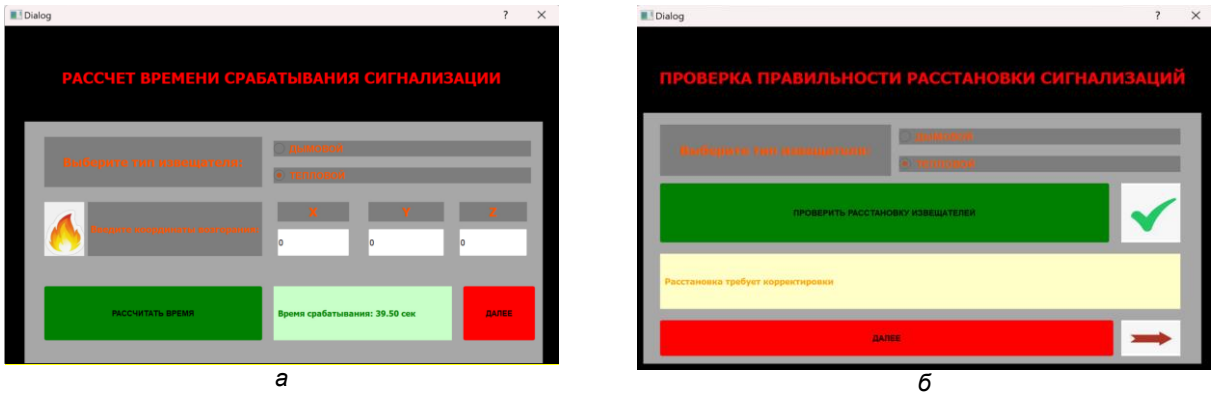
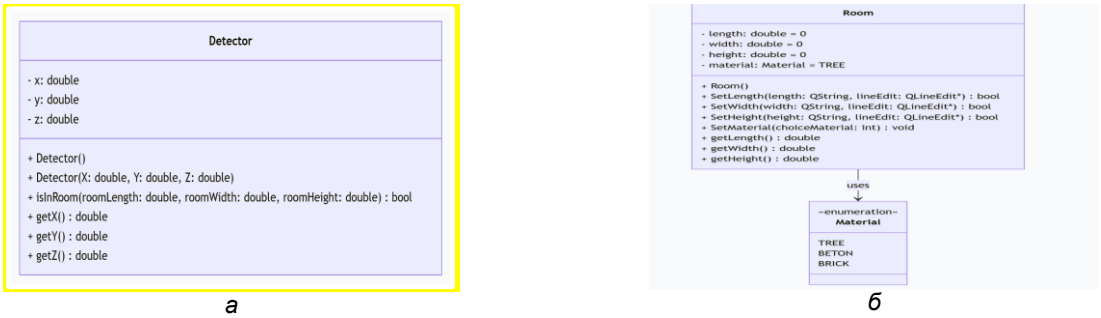


Рисунок *2 – Диалоговые окна анализа результатов расположения системы сигнализации: а) Диалоговое окно результатов расчета времени срабатывания сигнализации, б) Диалоговое окно результатов расстановки сигнализации*

В десктопном приложении приведены следующие модели данных: Класс Извещатель и Класс Помещение, которые показаны на рисунке 3. Класс Извещатель включает в себя поля: x, y, z. Они служат для описания местонахождения извещателя в помещении. Класс Помещение представляет собой геометрические и физические параметры помещения. Его поля представляют собой длину, ширину и высоту комнаты, а также материал.



а *б*

Рисунок *3 –Модели данных десктопного приложения - Класс Извещатель и Класс Помещение: а) Класс Извещатель, б) Класс Помещение*

В десктопном приложении приведены расчетные модули, среди которых калькулятор расчета требуемых параметров, модуль проверки нормативных требований и модуль визуализации.

При этом калькулятор времени срабатывания реализует алгоритмы расчета времени обнаружения пожара и учитывает параметры самих извещателей и характеристики приемно-контрольной аппаратуры, а также параметры помещения. Весь расчет происходит с помощью формулы $T_{\text{ср}} = T_{\text{распр}} + T_{\text{изв}} + T_{\text{обр}}$, а также с учетом типа и количества извещателей.

1 Модуль проверки нормативных требований содержит базу актуальных нормативных документов по пожарной безопасности и автоматически проверяет полученные результаты расчета на соответствие установленным нормативам.

2 Модуль визуализации подготавливает данные для графического представления.

Заключение. Разработано десктопное приложение для оценки пожарной безопасности помещения на основе математического моделирования распространения опасных факторов пожара и анализа работы пожарных извещателей. В систему интегрированы модели расчёта общего времени срабатывания пожарной сигнализации, алгоритмы вычисления времени срабатывания тепловых и дымовых извещателей с учётом параметров помещения и оборудования, а также механизм проверки соответствия установленным нормативам. Реализована система анализа корректности размещения извещателей, включающая выявление нарушений и автоматическую оптимизацию их расположения. Спроектирован удобный графический интерфейс, обеспечивающий корректный ввод данных и наглядное представление результатов расчётов. Разработанное десктопное приложение позволяет выполнять комплексную оценку эффективности системы пожарной сигнализации.

Список литературы

1. Артемов, Н.С. Пожарная автоматика : учебное пособие / Н.С. Артемов, А.Я. Корольченко. – Минск : Академия МЧС, 2020. – 215 с.
2. Кошмаров, Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении / Ю.А. Кошмаров. – Москва : Спецтехника, 2018. – 187 с.

UDC 004.42:625.748.56

DESKTOP APPLICATION FOR ASSESSING THE FIRE SAFETY OF A ROOM BASED ON MODELING FIRE HAZARDS AND ANALYZING THE OPERATION OF FIRE DETECTORS

Lukashevich A.D., Tukaylo M.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Telesh I.A. – Cand. of Sci., Associate Professor of the Department of Engineering Psychology and Ergonomics

Annotation. Software has been developed for assessing the fire safety of premises based on modeling the spread of hazardous fire factors and calculating the response time of fire alarms.

Keywords. fire safety, heat detector, smoke detector, desktop application, C++, Qt framework.

УДК 004.774:614.8

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ФИКСАЦИИ И АНАЛИЗА НАРУШЕНИЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОПАСНОМ ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ОБЪЕКТЕ

Медведюк А.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Воробей А.В. – магистр технических наук, ассистент кафедры ИПиЭ

Аннотация. Разработано веб-приложение для фиксации и анализа нарушений производственной безопасности на опасных производственных объектах. Система построена по трёхуровневой архитектуре с использованием Spring Boot, PostgreSQL, WebSocket и Thymeleaf. Реализованы модули регистрации нарушений с категоризацией по степени тяжести, система экстренного оповещения (SOS), мониторинг местоположения персонала, контроль задач с таймерами безопасности, чек-листы, расчёт рисков и аналитика с экспортом отчётов в Excel и PDF. Предусмотрена ролевая модель доступа. Контейнеризация Docker обеспечивает воспроизводимость и масштабируемость.

Ключевые слова: производственная безопасность, веб-приложение, охрана труда, анализ нарушений, ОПО

Введение. Обеспечение производственной безопасности на опасных производственных объектах (ОПО) является приоритетной задачей охраны труда. Ежегодно в мире фиксируются миллионы несчастных случаев, значительная часть – на предприятиях повышенной опасности [1]. В Республике Беларусь регулирование осуществляется на основании Закона «О промышленной безопасности» [2].

Традиционная фиксация нарушений с использованием бумажных журналов характеризуется низкой оперативностью и сложностью анализа данных [3]. Автоматизация мониторинга позволяет повысить скорость реагирования, прозрачность контроля и качество управленческих решений [4].

Цель работы – разработка веб-приложения для комплексной автоматизации фиксации и анализа нарушений промышленной безопасности на ОПО.

Основная часть. Функциональные требования системы:

– регистрация нарушений с указанием категории, степени тяжести, геолокации и фото;
– управление заявками;
– система SOS;
– контроль задач с таймерами безопасности;
– электронные чек-листы и расчёт рисков;
– аналитика и экспорт отчётов;
– ролевая модель доступа (работник, специалист, администратор).

На рисунке 1 изображена архитектура веб-приложения фиксации и анализа нарушений производственной безопасности, простроенная по трёхуровневой модели: Presentation Layer, Business Logic Layer, Persistence Layer [5].

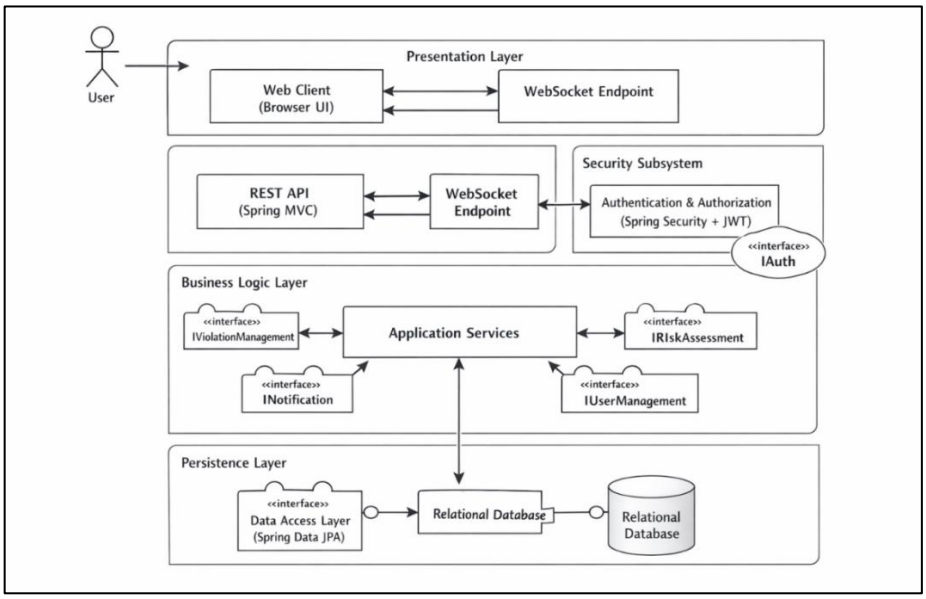


Рисунок 1 – Архитектура веб-приложения фиксации и анализа нарушений производственной безопасности

Уровень представления реализован на Thymeleaf и Bootstrap 5. Для функций реального времени используется WebSocket (STOMP / SockJS) [6].

Бизнес-логика реализована на Spring Boot 3.2. Аутентификация и авторизация выполняются с применением JWT (access – 24 ч, refresh – 7 дней) и 2FA.

Уровень доступа к данным основан на Spring Data JPA и PostgreSQL 15. Миграции выполняются с помощью Flyway. В таблице 1 представлен используемый технологический стек веб-приложения.

Таблица 1 – Технологический стек веб-приложения

Компонент	**Технология**
Серверная платформа	Java 17, Spring Boot 3.2
Безопасность	Spring Security, JWT, 2FA
Доступ к данным	Spring Data JPA, Hibernate
СУБД	PostgreSQL 15
Миграции	Flyway
Реальное время	WebSocket (STOMP / SockJS)
Представление	Thymeleaf, Bootstrap 5, Leaflet.js
Отчётность	Apache POI (Excel), iText (PDF)

Модель данных включает 22 сущности. Ключевая сущность «Violation» содержит категорию, степень тяжести (низкая, средняя, высокая, критическая), статус, описание, координаты и ссылки на фото.

Система реализует ролевую модель доступа, определяющую три уровня привилегий (таблица 2).

Таблица 2 – Ролевая модель доступа

Роль	**Функциональные возможности**
Работник (USER)	Фиксация нарушений, подача заявок, отправка SOS-сигнала, обмен сообщениями, создание таймеров безопасности
Специалист (SPECIALIST)	Обработка SOS-сигналов, мониторинг таймеров и SOS-сигналов на карте, обработка заявок и нарушений, мониторинг персонала, оценка рисков, аналитика, работа с чек-листами, обмен сообщениями, экспорт отчётов
Администратор (ADMIN)	Полный доступ: управление пользователями, сервисами, новостями, аналитикой, экспорт отчётов, настройки системы

Модуль обеспечения безопасности включает:

– SOS – отправка тревожного сигнала с геолокацией и мгновенной доставкой

специалистам через WebSocket.

– мониторинг местоположения – отображение персонала на карте (Leaflet.js) и журналирование маршрутов [7].

– таймеры безопасности – автоматическое уведомление при отсутствии подтверждения активности работника.

Аналитический модуль формирует отчёты по динамике нарушений, категориям, степени тяжести и статистике SOS. Поддерживается экспорт в Excel и PDF.

Информационная безопасность обеспечивается HTTPS (TLS), Spring Security, аннотациями @PreAuthorize и журналом аудита audit_log в соответствии с рекомендациями OWASP [8].

Контейнеризация Docker (docker-compose) позволяет развернуть систему и СУБД одной командой, обеспечивая переносимость и масштабируемость.

Заключение. Разработано веб-приложение для автоматизации процессов фиксации и анализа нарушений производственной безопасности на ОПО. Система обеспечивает:

– оперативную регистрацию нарушений;

– экстренное оповещение с геолокацией;

– аналитическую обработку данных;

– ролевое разграничение доступа.

Использование WebSocket обеспечивает работу в реальном времени, а Docker – переносимость решения. Дальнейшее развитие предполагает внедрение методов машинного обучения для предиктивного анализа рисков.

Список литературы

1. *International Labour Organization. World Statistic [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ilo.org/. – Дата доступа: 01.03.2026.*

2. *О промышленной безопасности: Закон Респ. Беларусь, 5 янв. 2016 г., № 354-З // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://pravo.by/. – Дата доступа: 01.03.2026.*

3. *Петров, А.В. Автоматизация процессов управления охраной труда на промышленных предприятиях / А.В. Петров, И.С. Сидоров // Безопасность труда в промышленности. – 2022. – № 4. – С. 45–52.*

4. *Walls, C. Spring Boot in Action / C. Walls. – Shelter Island : Manning Publications, 2024. – 472 с. – ISBN 978-1-61729-254-5.*

5. *Richardson, C. Microservices Patterns: With Examples in Java / C. Richardson. – Shelter Island : Manning Publications, 2019. – 520 с. – ISBN 978-1-61729-454-9.*

6. *WebSocket Protocol / Internet Engineering Task Force (IETF). – RFC 6455 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://tools.ietf.org/html/rfc6455. – Дата доступа: 01.03.2026.*

7. *Leaflet – an open-source JavaScript library for interactive maps [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://leafletjs.com/. – Дата доступа: 01.03.2026.*

8. *OWASP Top 10 – 2021: The Ten Most Critical Web Application Security Risks [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://owasp.org/Top10/. – Дата доступа: 01.03.2026.*

UDC 004.774:614.8

WEB APPLICATION FOR RECORDING AND ANALYSIS OF INDUSTRIAL SAFETY VIOLATIONS AT HAZARDOUS PRODUCTION FACILITIES

Medvedyuk A.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Vorobey A.V. – Master of Sci., Assistant of the department of EPaE

Annotation. A web application has been developed for recording and analyzing industrial safety violations at hazardous production facilities. The system is built on a three-tier architecture using Spring Boot, PostgreSQL, WebSocket and Thymeleaf. Modules for registration of violations with categorization by severity, an emergency notification system (SOS), staff location monitoring, task control with security timers, checklists, risk calculation and analytics with the export of reports to Excel and PDF have been implemented. A role-based access model is provided. Docker containerization ensures reproducibility and scalability.

Keywords: industrial safety, web application, occupational safety, violation analysis, HPF

УДК 004.777:331.434

ВЕБ-СЕРВИС ДЛЯ КУПЛИ И ПРОДАЖИ АВТО «АВТОТОЧКА» И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Новиков К.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Воробей А.В. – ассистент кафедры ИПиЭ

Аннотация. В работе реализован веб-сервис «АвтоТочка», предназначенный для организации онлайн-площадки по продаже новых и подержанных автомобилей. Платформа обеспечивает удобный поиск и фильтрацию транспортных средств по основным техническим и ценовым характеристикам, а также предоставляет информацию о возможностях приобретения в кредит и рассрочку. Архитектура сервиса предусматривает возможность интеграции с API автодилеров, что позволяет взаимодействовать с различными поставщиками автомобилей и автоматически обновлять данные каталога. Интерфейс направлен на повышение удобства навигации и восприятия информации. Реализация сервиса способствует упрощению процесса выбора и покупки автомобиля в цифровой среде.

Ключевые слова: веб-сервис, продажа автомобилей, новые и подержанные авто, кредитование, рассрочка, эргономика интерфейса

Введение. В настоящее время рынок онлайн-продажи автомобилей активно развивается, а пользователи всё чаще выбирают цифровые платформы для поиска и приобретения транспортных средств [1]. Крупные сервисы, такие как «Авто.ру» и «Дром», предоставляют широкий выбор объявлений, однако значительная часть их функционала ориентирована преимущественно на размещение предложений, а не на комплексное сопровождение покупки [2]. Платформа «Авито Авто» предлагает удобный каталог, но интеграция с дилерскими центрами и автоматическое обновление данных реализованы ограниченно [3]. Кроме того, вопросы эргономики интерфейса остаются актуальными, поскольку перегруженность фильтров и карточек товаров может усложнять процесс выбора автомобиля.

Целью данной работы является разработка веб-сервиса «АвтоТочка», предназначенного для продажи новых и подержанных автомобилей с возможностью интеграции с дилерами через API и предоставлением информации о вариантах покупки в кредит и рассрочку [4]. Особое внимание уделяется эргономическому обеспечению интерфейса для повышения удобства навигации и восприятия информации пользователями [5].

Основная часть. Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

– провести анализ существующих онлайн-платформ по продаже автомобилей;

– разработать структуру каталога автомобилей с разделением на новые и подержанные модели и реализовать механизм сравнения предложений;

– реализовать модуль расчёта ориентировочных условий кредита и рассрочки;

– обеспечить механизм синхронизации данных с дилерскими центрами посредством API-интеграции;

– выполнить оценку удобства интерфейса на основе принципов эргономики и минимизации когнитивной нагрузки пользователя;

– протестировать корректность отображения данных и стабильность работы сервиса при обновлении информации.

Для реализации задач разработан следующий функционал приложения:

– каталог новых и подержанных автомобилей;

– расширенная система фильтрации по техническим и ценовым параметрам;

– отображение детальной информации об автомобиле;

– предоставление информации о кредитовании и рассрочке [6];

– автоматическое обновление данных через интеграцию с дилерскими API.

Деятельность пользователя зависит от выполняемых им действий в ходе работы в

системе.

Заключение. В процессе разработки веб-сервиса «Автоточка» проведён анализ потребностей потенциальных пользователей и выявлены основные сценарии поиска и покупки автомобилей. Изучены существующие платформы, такие как «Авто.ру», «Дром» и «Авито Авто», чтобы определить лучшие практики в предоставлении актуальной информации о транспортных средствах. Этапы проектирования интерфейса выполнены с учётом эргономики, удобства навигации и наглядного представления данных.

В результате создан веб-сервис, который позволяет просматривать каталог новых и подержанных автомобилей, фильтровать объявления по ключевым параметрам, получать сведения о кредитных и рассрочных условиях, а также обновлять данные автоматически через интеграцию с API различных дилеров. Особое внимание уделено интерфейсу: визуальная структура и логика работы снижает вероятность ошибок пользователя и облегчает восприятие информации.

В перспективе планируется расширение функционала за счёт интеграции дополнительных дилеров и возможного внедрения инструментов персонализированных уведомлений о новых поступлениях, что повысит удобство и эффективность использования сервиса.

Список литературы

1. *Аналитика онлайн-рынка продажи автомобилей в России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.autostat.ru/analytics. – Дата доступа: 24.02.2026.*

2. *Авто-ру [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://auto.ru/. – Дата доступа: 25.02.2026.*

3. *Авито Авто [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.avito.ru/auto/. – Дата доступа: 25.02.2026.*

4. *Интеграция API: принципы и практика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://rusrails.ru/api-app/. – Дата доступа: 24.02.2026.*

5. *Интеграция API: принципы и практика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://rusrails.ru/api-app/. – Дата доступа: 24.02.2026.*

6. Шупейко, И. Г. Эргономическое проектирование систем «человек – машина», пособие / И. Г. Шупейко. – Минск, БГУИР, 2017. – 77 с.

UDC 004.777:331.434

WEB SERVICE FOR BUYING AND SELLING CARS «AVTOTOCHKA» AND ITS ERGONOMIC DESIGN

Novikau K.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Vorobey A.V. – assistant of the department of EPE

Annotation. The web service “AvtoTochka” has been developed to provide an online platform for buying and selling new and used cars. The platform enables convenient searching and filtering of vehicles based on key technical and price characteristics, as well as providing information on available credit and installment options. The service architecture allows integration with car dealers’ APIs, enabling interaction with various vehicle suppliers and automatic updating of the catalog data. The interface is designed to enhance navigation ease and information perception. The implementation of the service simplifies the process of selecting and purchasing a car in a digital environment.

Keywords: web service, car sales, new and used cars, credit options, installment plans, interface ergonomics

УДК 614.84:004.9

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ТЕПЛОВИЗИОННОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТА

Савеня П.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Клюев А.П. – ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. Рассматривается информационная система тепловизионного мониторинга на основе инфракрасного сенсора *MLX90640*. Предложен алгоритм для обнаружения тепловых аномалий, который включает в себя абсолютный порог, статистический Z-критерий, а также оценку скорости нагрева. Показано, что применение одновременно нескольких критериев и кластеризации снижает долю ложных тревог по сравнению с однопороговыми методами.

Ключевые слова: тепловизионный мониторинг, пожарная безопасность, обнаружение тепловых аномалий, инфракрасный датчик, информационная система

Введение. Традиционные средства защиты от пожаров – это дымовые и тепловые извещатели, которые используются для обнаружения возникшего возгорания. Значительная доля промышленных пожаров начинается с локального перегрева или тления, которые могут длиться продолжительный период времени без видимых признаков горения [1]. Позднее обнаружение такого предпожарного состояния может приводить к крайне высокому ущербу.

Анализ существующих решений показывает, что: системы, которые работают по единственному пороговому критерию, показывают высокую долю ложных тревог при изменении фоновой температуры среды; точечные датчики не обеспечивают контроля поля температур, что не позволяет локализовать источник нагрева. Для устранения указанных недостатков предлагается информационная система тепловизионного мониторинга с многокритериальным анализом термограмм.

Основная часть. Ключевым преимуществом тепловизионного контроля в инфракрасном диапазоне перед классическими методами является возможность работы в условиях задымления, полной темноты и высокой запылённости, то есть именно в тех условиях, когда оптические системы видимого диапазона обнаружения теряют эффективность, что делает подход с использованием ИК-тепловизионного мониторинга особенно актуальным для промышленных объектов с повышенным риском возгорания. Устройство сбора данных, посредством инфракрасного сенсора *MLX90640* формирует поле температур (термограмму в виде матрицы с разрешением 24x32 пикселя и частотой обновления до 32 кадров в секунду [2]), и виде кадра температур передает на сервер с дополнительными метаданными: меткой времени, средним, а также минимальным и максимальным значением температуры кадра.

Ядро аналитики реализует адаптивный попиксельный алгоритм [3]. Для каждого пикселя непрерывно отслеживается динамика температуры во времени. Шаг дискретизации определяется частотой опроса сенсора, формула 1:

$$\Delta t = 1/f_{fps}, \tag{1}$$

где f_{fps} – частота обновления кадров сенсора, Гц.

Коэффициент экспоненциального сглаживания вычисляется через постоянную времени, определяющую скорость адаптации модели к изменению фоновой температуры, формула 2:

$$\alpha = 1 - e^{-\Delta t/\tau}, \tag{2}$$

где τ – постоянная времени адаптации, с.

На основе полученного коэффициента для каждого пикселя непрерывно обновляется скользящее среднее и дисперсия, формулы 3 и 4:

$$\mu_t = \mu_{t-1} + \alpha_\mu(x_t - \mu_{t-1}), \tag{3}$$

$$\sigma_t^2 = (1-\alpha_\sigma)\sigma_{t-1}^2 + \alpha_\sigma(x_t - \mu_{t-1})^2, \tag{4}$$

где x_t – температура пикселя в момент времени t, °C;
μ_t – оценка базовой температуры;
σ_t^2 – оценка дисперсии;
α_μ – коэффициент сглаживания среднего;
α_σ – коэффициент сглаживания дисперсии.

Для оценки степени отклонения текущей температуры от адаптивного фона вычисляется стандартизованная аномалия (z-критерий) пикселя, формула 5:

$$z_t = \frac{x_t - \mu_t}{\max(\sigma_t, \sigma_{min})}, \tag{5}$$

где σ_{min} – минимальный порог дисперсии, исключающий деление на ноль при стабильном фоне.

Помимо статистической аномалии, важным признаком предпожарного состояния является динамика нагрева. Скорость нагрева пикселя и её сглаженная оценка определяются по формуле 6:

$$d_t = \frac{x_t - \mu_t}{\Delta t}, \tilde{d}_t = (1-\alpha_d)\tilde{d}_{t-1} + \alpha_d d_t, \tag{6}$$

где d_t – мгновенная скорость нагрева, °C/c;
$\tilde{d}_t$ – сглаженная оценка скорости нагрева;
α_d – коэффициент сглаживания производной.

Для учёта накопленного во времени аномального отклонения применяется экспоненциально взвешенное скользящее среднее (*EWMA*) положительных z-критериев, формула 7:

$$z_t^{ewma} = (1-\beta)z_{t-1}^{ewma} + \beta\max(z_t, 0), \tag{7}$$

где β – коэффициент накопления аномальной энергии.

На основе накопленных отклонений формируется карта риска объекта, отражающая зоны длительного или повторяющегося перегрева, формула 8:

$$R_t = \lambda R_{t-1} + \max(z_t - z_{floor}, 0), \tag{8}$$

где λ – коэффициент затухания;
z_{floor} – нижний порог, отсекающий незначимые отклонения.

Тревога формируется на основе четырёх независимых критериев: абсолютный перегрев; статистическая аномалия; превышение скорости нагрева; накопленная аномалия. Каждый

критерий требует подтверждения на протяжении N последовательных кадров, что исключает срабатывание от одиночного шумового кадра [4]. Итоговая маска опасных пикселей определяется объединением всех четырёх условий.

Для снижения доли ложных тревог к полученной маске применяется связная кластеризация по схеме 4-соседства с фильтром минимального размера кластера. Для каждого кластера, прошедшего фильтрацию, вычисляются характеристики зоны опасности: пиковая температура, отклонение от фона, максимальный z-критерий и координаты зоны поражения.

Серверная часть системы обеспечивает обработку потока термограмм в реальном времени, хранение кадров, тревог и карт риска, а также ролевую модель доступа и журнал аудита действий операторов. Клиентская панель отображает живой поток термограмм, активные тревоги, историческую карту рисков и журнал инцидентов. Применение ансамблевого подхода принципиально отличает предложенную систему от однопороговых решений: срабатывание возможно только при одновременном выполнении нескольких условий с заданной персистентностью, что соответствует исключительно реальным предпожарным ситуациям.

Заключение. Разработана информационная система непрерывного тепловизионного мониторинга, реализующая сбор термограмм с сенсора *MLX90640*, их передачу и адаптивную попиксельную обработку на сервере. Предложенный многокритериальный алгоритм – сочетание абсолютного порога, z-критерия, оценки скорости нагрева, *EWMA*-накопления и кластеризации, что позволяет обнаруживать предпожарные состояния на стадии локального перегрева и существенно снижать долю ложных тревог. Система обеспечивает пространственную локализацию источника нагрева, что недостижимо при использовании традиционных точечных датчиков.

Список литературы

1. *Brushlinsky, N. N. World fire statistics / N. N. Brushlinsky, M. Ahrens, S. V. Sokolov, P. Wagner. Geneva: CTIF, 2023. 64 p.*

2. *MLX90640 Far Infrared Thermal Sensor Array Datasheet [Электронный ресурс]. Melexis N.V., 2019. 40 p. Режим доступа: https://www.melexis.com/en/documents/documentation/datasheets/datasheet-mlx90640. Дата доступа: 20.02.2026.*

3. *Tarigan, Widia Br., Robet, Tarigan, Feriani Astuti. IoT Sensor Data Analysis for Early Fire Detection Using Dynamic Threshold // Sinkron: Jurnal dan Penelitian Teknik Informatika. 2026. Vol. 10, No 1. P. 200–209. DOI: 10.33395/sinkron.v10i1.15478.*

4. *Температурный мониторинг как метод предупреждения пожаров на промышленных объектах / В. П. Молчанов [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2021. Т. 30, № 2. С. 18–27.*

UDC 614.84:004.9

THERMAL MONITORING INFORMATION SYSTEM FOR IMPROVING FIRE SAFETY OF THE OBJECT

Savenia P.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Kluev A.P. – Senior Lecturer at the Department of Engineering Psychology and Ergonomics

Annotation. thermal monitoring information system based on the infrared sensor MLX90640 is considered. An algorithm for detecting thermal anomalies is proposed, which includes an absolute threshold, a statistical Z-criterion, and an assessment of the heating rate. It has been shown that the use of multiple criteria and clustering simultaneously reduces the share of false alarms compared to threshold methods.

Keywords: thermal imaging monitoring, fire safety, detection of heat anomalies, infrared sensor, information system

УДК 004.946:[378.147:54]

ВИРТУАЛЬНАЯ РЕАЛЬНОСТЬ В ОБУЧЕНИИ ХИМИИ

Скворец И.С; Заматай М.С.

Белорусский Государственный Университет Информатики и Радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Цявловская Н.В. – магистр технических наук, ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. Данная разработка – это образовательная *VR*-квест-игра для дополнительного и познавательного изучения химии, разработанная с использованием движка *Unity*. В статье описаны этапы создания *3D*-моделей в *Blender*, их импорта в *Unity*, добавления текстур и коллизий. Проект демонстрирует потенциал виртуальной реальности в образовательном процессе, предлагая интерактивный подход к обучению химии через увлекательные задачи и квесты. Обсуждаются перспективы дальнейшего усовершенствования игры: добавление новых уровней, персонажей, мини-игр и интеграция в образовательный программы средней школы.

Ключевые слова: виртуальная реальность, образовательная игра, *Unity, 3D*-моделирование, интерактивное обучение, химия, разработка игр, тестирование, *SteamVR*

Введение. В наше время информационных технологий наблюдается растущая популярность виртуальной реальности, с каждым днем появляется все больше игр и программ, которые разрабатываются с использованием технологии *VR*, виртуальная реальность успешно интегрировалась в такие сферы, как образование, производство, строительство и медицина, проект, связанный с использованием виртуальной реальности (*VR*) для повышения интереса к химическим опытам, имеет высокую актуальность и значимость, виртуальная реальность предлагает уникальную возможность создания интерактивной среды, которая может значительно облегчить и усовершенствовать процессы обучения, исследования и практического опыта в химических науках, цель проекта – разработать *VR*-игру по химии «Бегство из лаборатории».

Основная часть. Для разработки игры выбран движок *Unity*, поскольку на нём легче создать проект благодаря большому количеству руководств и обучающих статей. Для создания *3D*-моделей использован бесплатный программный продукт *Blender* с открытым исходным кодом. *Blender* предоставляет мощные инструменты для анимации, включая скелетную анимацию, симуляцию физики и работу с частицами. Для написания кода выбран язык программирования *C#* [1, 2].

Все объекты, созданные в *Blender*, были экспортированы в формат *.fbx*. Структура данных файла *FBX* имеет иерархическую форму и использует узловую структуру. Каждый узел представляет элемент сцены (камера, меш, текстура, материал и т. д.). Они могут быть вложены друг в друга, создавая комплексные сцены. *FBX*-файлы могут содержать множество элементов, поддерживают сжатие, анимацию объектов, текстуры, материалы и освещение, занимая при этом меньше места по сравнению с другими форматами *3D*-моделей. Поэтому данный формат идеально подходит для импорта в *Unity* [2].

На рисунке 1 представлена локация, на которой расположен лабиринт в среде разработки *Unity*. На все объекты наложены текстуры и добавлена коллизия для корректного взаимодействия. На рисунке 2 представлена лаборатория, в которой начинается сессия.

Для создания персонажа использовался бесплатный плагин *SteamVR* из *Assets Store*. Согласно описанию плагина, *Valve* поддерживает этот плагин *Unity* для беспрепятственного взаимодействия со *SteamVR*. С помощью *SteamVR* разработчики могут ориентироваться на один *API*, к которому подключаются все популярные гарнитуры виртуальной реальности для ПК. Плагин позволяет управлять загрузкой *3D*-моделей для *VR*-контроллеров, обработкой ввода и вывода, а также отображением персонажа [3].

С развитием технологий виртуальной реальности создание интерактивных игровых миров и задач стало возможным. Одним из интересных примеров является дверь с кодовым замком: для открытия двери необходимо решить головоломку. Такая задача добавляет

интерактивности, требует логического мышления и развивает когнитивные умения.

Виртуальная реальность помогает в изучении химии несколькими ключевыми способами. Во-первых, она позволяет проводить опасные эксперименты в полностью безопасной виртуальной среде, исключая риск для здоровья пользователя. Во-вторых, *VR* даёт возможность визуализировать невидимые процессы – молекулярные структуры, атомы и динамику химических реакций в трёхмерном пространстве, что значительно улучшает понимание сложного материала. В-третьих, интерактивные квесты и задачи развивают практические навыки, повышают мотивацию и делают процесс обучения увлекательным [4].

Проект «Бегство из лаборатории» можно эффективно использовать не только в школах, но и в вузах, а также для самостоятельного изучения. Его легко интегрировать в школьные образовательные программы как дополнительный инструмент. Возможна адаптация под мобильные *VR*-платформы, создание сетевой версии для групповых занятий и расширение на другие естественно-научные дисциплины. Такие доработки сделают образовательный процесс более доступным и современным для широкой аудитории [5].

Запланированные и проведённые экспериментальные исследования были необходимы для проверки функциональных возможностей программной системы и оценки её производительности на различных платформах. Все функциональные требования выполнены и протестированы в соответствии с заданием. Игра работает стабильно, коллизии и взаимодействия функционируют корректно.

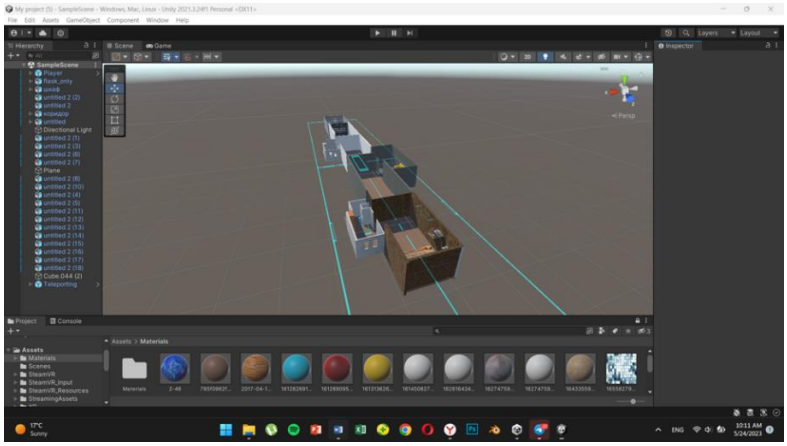


Рисунок 1 – Коридор с комнатами в среде разработки *Unity*

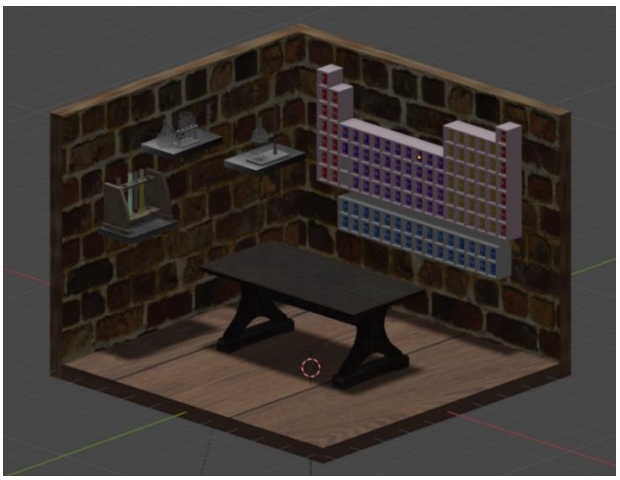


Рисунок 2 – Начальная локация

Проект игры в *VR* «Бегство из лаборатории» предлагает уникальный подход к обучению химии через интерактивность, и, несмотря на первоначальную ориентацию на школьников, он имеет потенциал для расширения функционала и охвата аудиторий разных возрастов – от

любителей научно-фантастических приключений до студентов химических специальностей.

Благодаря сочетанию геймификации и научного контента «Бегство из лаборатории» способствует развитию логического мышления и интереса к науке. Использование VR делает процесс обучения не только наглядным, но и эмоционально вовлекающим. Такой формат помогает учащимся лучше усваивать сложные темы за счёт практического взаимодействия с объектами. В дальнейшем проект может стать частью более широкой образовательной платформы, объединяющей виртуальные лаборатории по различным дисциплинам.

Заключение. Игровые технологии, включая технологию виртуальной реальности, стали популярным средством обучения для детей, в том числе в области химии, и данный проект демонстрирует, как *VR* может сделать образовательный процесс более увлекательным и доступным, являясь отличным средством для интеграции в школьные учебные планы и использования учителями как дополнительный ресурс. Развитие такой *VR*-игры является перспективным направлением в инновационном образовании, и поскольку проект основан на виртуальной реальности, он не потеряет актуальности, а кроме добавления новых уровней, технические возможности *VR* позволяют вводить новых персонажей, менять окружающую среду и создавать мини-игры, способствующие усвоению материала по предмету «Химия» в интерактивной форме. Таким образом, проект «Бегство из лаборатории» сочетает образовательные и развлекательные элементы, что делает его эффективным инструментом для формирования интереса к естественным наукам. Он способствует развитию исследовательских навыков и самостоятельного мышления у обучающихся.

Список литературы

1. *GeekBrains – образовательная платформа IT и digital профессий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://gb.ru/blog/chto-takoe-c/. – Дата доступа: 26.02.2024.*

2. *Книга «Изучаем C# через разработку игр на Unity. 5-е издание» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://habr.com/ru/company/piter/blog/595483/. – Дата доступа: 26.02.2024.*

3. *Документация по работе в Unity [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.unity3d.com/ru/current/Manual/index.html. – Дата доступа: 26.02.2024.*

4. *Оптимизация игр в Unity 5 / К. Дикинсон. – Birmingham: Packt Publ., 2015 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: ru.pdfdrive.com/Оптимизация-игр-в-unity-5-e185239664.html.*

5. *Технологии виртуальной реальности. Пособие к практическим занятиям / А. А. Быков, Е. А. Мельникова, К. Д. Яшин. – Минск: БГУИР, 2015 (на русском языке) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://libeldoc.bsuir.by/bitstream/123456789/2895/1/Bikov_Tehnologii.pdf.*

UDC 004.946:[378.147:54]

VIRTUAL REALITY IN CHEMISTRY EDUCATION

Skvorets I.S., Zamatay M.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Tsyavlovskaya N.V. – Senior Lecturer, Department of Engineering Psychology and Ergonomics, Master of Sci.

Annotation. This development is an educational VR quest game designed for supplementary and exploratory study of chemistry, developed using the Unity game engine, and the article describes the stages of creating 3D models in Blender, importing them into Unity, and adding textures and colliders, while the project demonstrates the potential of virtual reality in the educational process by offering an interactive approach to learning chemistry through engaging tasks and quests, and prospects for further improvement of the game are discussed, including the addition of new levels, characters, mini-games, and integration into secondary school curricula.

Keywords: virtual reality, educational game, Unity, 3D modeling, interactive learning, chemistry, game development, testing, SteamVR.

УДК 504.3.054

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ ОТ СТАЦИОНАРНЫХ ИСТОЧНИКОВ В МИНСКЕ

Захаренков И.Д.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Камлач В.И. – магистр технических наук, ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. В данной статье проводится комплексный анализ динамики выбросов основных загрязняющих веществ (SO2, CO, NOx, ТЧ) в атмосферу г. Минска за период 2019-2023 гг. на основе официальных данных Белстата. Исследуется влияние технологических изменений в промышленности, модернизации предприятий и реализации природоохранных программ на динамику выбросов.

Ключевые слова: загрязнение воздуха, выбросы в атмосферу, оксид углерода, диоксид азота, диоксид серы, твёрдые частицы, промышленные источники, Минск, атмосферная экология, Белстат.

Введение. Состояние воздушной среды является одним из ключевых показателей качества окружающей среды в городах и прямо влияет на здоровье населения. В Республике Беларусь основной вклад в загрязнение вносят стационарные и передвижные источники, среди которых доля промышленных предприятий остаётся существенной [1].

Минск характеризуется высокой концентрацией производственных объектов. В последние годы в столице отмечается тенденция к модернизации производств и увеличению инвестиций в природоохранные мероприятия [2]. Для оценки реальной эффективности данных мер в качестве хронологических рамок исследования выбран пятилетний период – с 2019 по 2023 год.

Основная часть. Анализ выполнен на основе официальных данных Минприроды [3] и отчетности предприятий [4] за период 2019–2023 гг., что позволяет выявить среднесрочные тренды выбросов. Рассматриваются четыре основных загрязнителя: диоксид серы, оксиды азота, монооксид углерода и твёрдые частицы. Для каждого вещества проанализирована динамика выбросов и их корреляция с изменениями в промышленном секторе города.

Результаты анализа. Анализ данных по выбросам SO_2 выявил наиболее выраженную положительную динамику. В 2020 г. зафиксирован резкий рост до 3,2 тыс. т (+357% к 2019 г.), вероятно, обусловленный изменением режимов работы предприятий в пандемию COVID-19. В последующие годы наблюдалось устойчивое снижение: до 2,4 тыс. т в 2021 г. с дальнейшей стабилизацией на уровне 0,2–0,3 тыс. т в 2022–2023 гг. (рисунок 1).

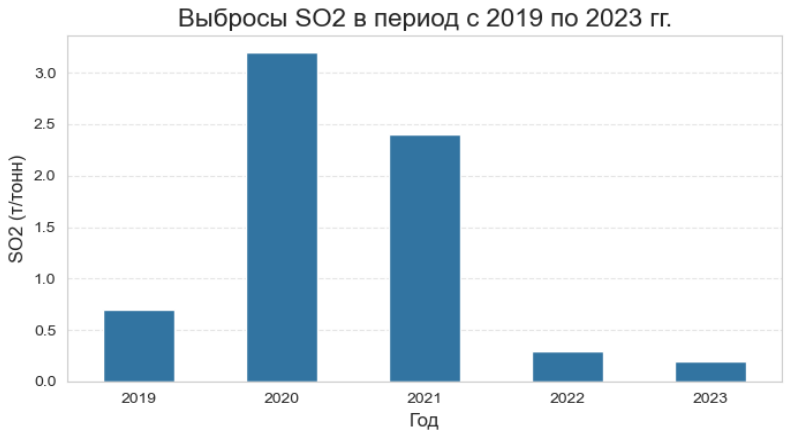


Рисунок 1 – выбросы SO_2 в период 2019-2023 гг.

Выбросы NO_x демонстрируют относительно стабильную динамику (рисунок 2). Это объясняется доминирующей ролью транспортного сектора (передвижных источников) в структуре выбросов оксидов азота, существенно превышающей вклад стационарных источников. Тем не менее, снижение показателей в 2023 г. может отражать эффект модернизации ТЭЦ [4].

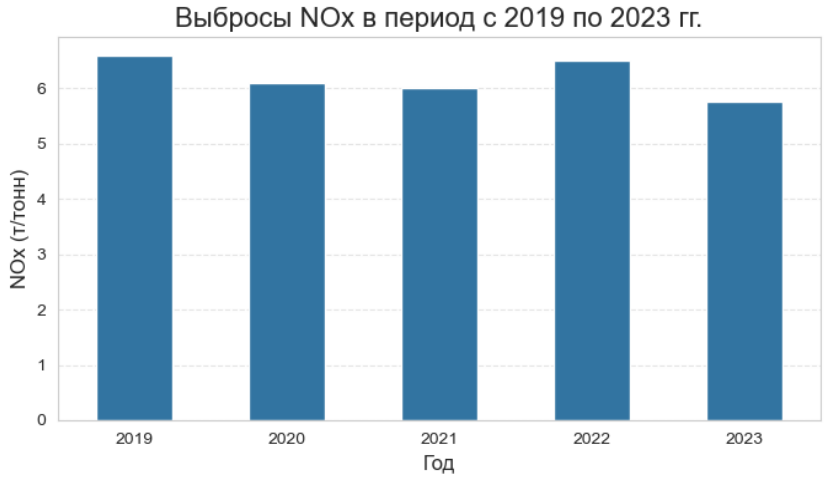


Рисунок 2 – выбросы NO_X в период 2019-2023 гг.

Снижение выбросов CO (рисунок 3) в 2022–2023 гг. на 21,5% относительно пика 2021 г. свидетельствует об эффективности внедрённых технологических улучшений в системах контроля за горением топлива и введении более строгих норм выбросов на предприятиях [5]. Возможным дополнительным фактором, способствовавшим снижению выбросов от теплоэнергетического комплекса Минска в 2020-2021 гг., стал ввод в эксплуатацию Белорусской АЭС.

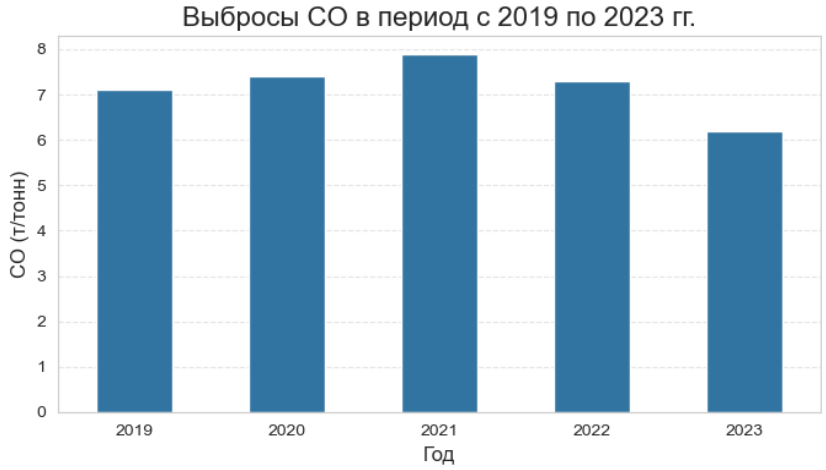


Рисунок 3 – выбросы монооксида углерода в период 2019-2023 гг.

В динамике выбросов твёрдых частиц наблюдается крайне незначительный рост, который, несмотря на модернизацию производственных мощностей МТЗ [6], вероятно, обусловлен интенсификацией строительной деятельности (возведение зданий и сооружений). Это коррелирует с реализацией Госпрограммы «Строительство жилья», демонстрирующей положительную динамику сектора [7].

Заключение. Проведенное исследование динамики выбросов основных загрязняющих веществ в атмосферу города Минска за период 2019–2023 гг. позволило выявить ряд значимых тенденций и факторов, влияющих на состояние воздушной среды столицы.

Анализ показал неоднородную динамику по различным загрязнителям. Наиболее выраженные позитивные изменения зафиксированы по диоксиду серы, где после кратковременного всплеска в 2020 году наблюдается устойчивое снижение выбросов. Данная тенденция свидетельствует об эффективности реализуемых природоохранных мероприятий и технологической модернизации предприятий. Схожая, но и менее выраженная тенденция прослеживается по монооксиду углерода, что указывает на успешное внедрение современных систем контроля процессов. Стабильность выбросов оксидов азота от стационарных источников объясняется доминирующей ролью мобильных источников в общей картине выбросов. Особое внимание заслуживает ситуация с твердыми частицами, где наблюдается незначительный рост выбросов на фоне проводимой модернизации промышленных предприятий. Данная динамика указывает на изменение структуры источников загрязнения в сторону увеличения вклада строительного сектора и других непромышленных источников. Для стабилизации уровня твердых частиц целесообразно более широкое применение современных систем пылеподавления на всех этапах проведения земляных и строительно-монтажных работ в черте города.

Модернизация предприятий и госпрограммы обеспечили положительную динамику по большинству загрязнителей. Однако для устойчивого результата необходим комплексный подход, охватывающий не только промышленные, но и строительные источники.

Список литературы

1. *Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух [Электронный ресурс] // Белстат. Режим доступа: https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayuschaya-sreda/sovmestnaya-sistema-ekologicheskoi-informatsii2/a-zagryaznenie-atmosfernogo-vozduha-i-razrushenie-ozonovogo-sloya/a-1-vybrosy-zagryaznyayuschih-veschestv-v-atmosfernyi-vozduh. Дата доступа: 01.12.2025.*

2. *Затраты на природоохранные мероприятия / Национальный статистический комитет Республики Беларусь // Охрана окружающей среды в Республике Беларусь. – 2025. – С. 33–34 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/153/kdw8xdozrnl8iiy3h0r019o18r88eb9i.pdf. Дата доступа: 01.12.2025.*

3. *Национальный доклад о состоянии окружающей среды Республики Беларусь за 2019–2022 годы / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. – 2025. – С. 30 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://minpriroda.gov.by/uploads/files/Natsdoklad-2023-na-sajt.pdf. Дата доступа: 01.12.2025.*

4. *Филиал «Минская ТЭЦ-4» РУП «Минскэнерго» [Электронный ресурс] // БЕЛТА. Режим доступа: https://belta.by/economics/view/filial-minskaja-tets-4-rup-minskenergo-provel-masshtabnuju-rekonstruktsiju-gradirni-st-4-683191-2024/. Дата доступа: 01.12.2025.*

5. *Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 27 декабря 2023 г. № 33 [Электронный ресурс] // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. Режим доступа: https://naturegomel.by/sites/default/files/inline/files/postanovleni-33-20-02-24-2_0.pdf. Дата доступа: 01.12.2025.*

6. *Реконструкция литейки МТЗ [Электронный ресурс] // Минск-Новости. Режим доступа: https://minsknews.by/posle-zaversheniya-rekonstrukczii-litejki-mtz-obemy-vrednyh-vybrosov-sokratyatsya-eshhe-na-1-600-tonn/. Дата доступа: 01.12.2025.*

7. *Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 28 января 2021 г. № 51 «О Государственной программе «Строительство жилья» на 2021–2025 годы» [Электронный ресурс] // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. Режим доступа: https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100051. Дата доступа: 01.12.2025.*

UDC 504.3.054

ANALYSIS OF THE DYNAMICS OF POLLUTANT EMISSIONS INTO THE ATMOSPHERE FROM STATIONARY SOURCES IN MINSK

Zakharenkau I.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Kamlach V.I. – Master of Sci. (M. of Sci.), Senior Lecturer at the Department of Engineering Psychology and Ergonomics

Annotation. This article provides a comprehensive analysis of the dynamics of emissions of the main pollutants (SO2, CO, NOx, SP) into the atmosphere of the city. Minsk for the period 2019-2023 based on official Belstat data. The impact of technological changes in industry, modernisation of enterprises and implementation of environmental programs on the dynamics of emissions is studied.

Keywords: air pollution, atmospheric emissions, carbon monoxide, nitrogen dioxide, sulphur dioxide, solid particles, industrial sources, Minsk, atmospheric ecology, Belstat.

УДК 004.774:304.442

ВЛИЯНИЕ ВЕБ-СЕРВИСОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ НА ПОДДЕРЖАНИЕ СОЦИАЛЬНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ И ПРОФИЛАКТИКА СОЦИАЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ

Асташко В.И.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Медведев О.С. – магистр технических наук, ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. Рассмотрено влияние веб-сервисов автоматизированного планирования на организацию совместной деятельности и поддержание социальных взаимодействий. Обоснована их роль как инструмента снижения барьеров координации времени и профилактики социальной изоляции.

Ключевые слова: совместное планирование, социальные взаимодействия, организация времени

Введение. Современная городская среда характеризуется высокой плотностью социальных контактов, ускоренным ритмом жизни и огромной вариативностью индивидуальных расписаний. Несмотря на широкие коммуникационные возможности, предоставляемые цифровыми технологиями, наблюдается тенденция к снижению количества личных встреч и социальной изоляции.

Одной из основных причин этого является несогласованность расписаний и сложность координации времени между несколькими участниками. Процесс согласования встречи часто включает анализ собственных обязательств, уточнение доступности других людей и обмен большим количеством сообщений. Это увеличивает временные затраты и когнитивную нагрузку, что в ряде случаев приводит к отказу от организации встречи.

В условиях высокой занятости, даже при наличии желания поддерживать социальные контакты, планирование совместного досуга может восприниматься как трудоемкий организационный процесс [1]. Таким образом, проблема снижения регулярности личных встреч связана не только с мотивационными или культурными факторами, но и с организационно-технологическими барьерами согласования времени [2].

Целью данной работы является исследование влияния плотного графика на организацию личных встреч, выявление основных трудностей совместного планирования и анализ возможностей цифровых сервисов автоматизации планирования как инструмента поддержки социальных взаимодействий.

Основная часть. С точки зрения инженерной психологии процесс согласования встречи между несколькими людьми связан с повышенной когнитивной нагрузкой. Пользователь вынужден учитывать собственное расписание, занятость других участников и поддерживать коммуникацию для поиска общего временного интервала.

В процессе согласования встречи человек выполняет несколько когнитивных операций, таких как анализ собственного расписания и обязательств, оценку предполагаемой занятости других участников, удержание в рабочей памяти нескольких альтернативных вариантов времени и обмен сообщениями для уточнения доступности и подтверждения встречи.

При увеличении количества участников возрастает число возможных комбинаций временных интервалов, что делает процесс координации более сложным. В результате планирование совместной деятельности может восприниматься как затратный по времени и усилиям процесс, что снижает вероятность реализации встречи.

Таким образом, трудности совместного планирования являются не только социально-психологической, но и организационно-технологической проблемой.

Для изучения влияния плотного графика на организацию личных встреч был проведен онлайн-опрос пользователей. В опросе приняли участие 120 респондентов в возрасте от 18 до

54 лет. Большинство в качестве основного вида занятости указали «Работа» (60,8%), а остальные выбрали «Учеба» (19,2%), «Работа и учеба» (16,7%) и «Временно не работаю» (3,3%). Целью исследования являлось выявление уровня занятости пользователей, особенностей организации личных встреч и факторов, затрудняющих согласование времени для совместной деятельности.

Опрос охватывал вопросы, связанные такими аспектами как уровень занятости респондентов и количество свободного времени, частота личных встреч с друзьями и знакомыми, удовлетворенность уровнем социального взаимодействия, сложности, возникающие при согласовании времени встречи и использование инструментов планирования.

Анализ полученных данных показал, что почти две трети респондентов оценивают свой график как загруженный (занятость «Скорее высокая» 53,3% и «Очень высокая» 12,5%), при этом свободное время в будние дни большинство оценили в «2-4 часа» (40,8%) и «Более 4 часов» (20%), что говорит о наличии объективных временных ограничений на организацию досуга.

Вопрос о частоте личных встреч показал, что большинство респондентов встречаются «Нерегулярно, 1-2 раза в месяц» (39,2%), либо «Реже одного раза в месяц» (28,3%), и вместе с тем удовлетворена количеством личного общения лишь треть («Скорее доволен(а)» 23,3% и «Полностью доволен(а)» 10%), что подтверждает актуальность исследования проблемы организации совместного досуга. Также отмечается, что, даже при наличии желания встретиться, встреча так и не происходит довольно часто почти для двух третьих респондентов («В 1 из 3 случаев» для 35,8% и «Примерно в половине случаев» для 27,5%), а основными причинами определено то, что «У всех разные графики, сложно найти общее окно в расписании» (72,5%) и «Недостаточно свободного времени» (44,2%). На вопрос о сложности организации встречи с 3 и более людьми большинство ответило, что испытывает с этим трудности (выбрали ответ «Скорее сложно» 60,8%, а «Очень сложно» – 7,5%), при этом лишь менее одной пятой части респондентов ответили, что отказывались от идеи встречи из-за сложности согласования «Никогда» (18,3%), что также подтверждает нашу гипотезу о причине сокращения количества социальных взаимодействий.

На рисунке 1 представлено распределение ответов на вопрос об используемых инструментах планирования: больше половины пользователей ответили «Обычно держу все в голове» (51,7%). Это также затрудняет реализацию планирования совместного досуга и еще сильнее повышает когнитивную нагрузку на человека.

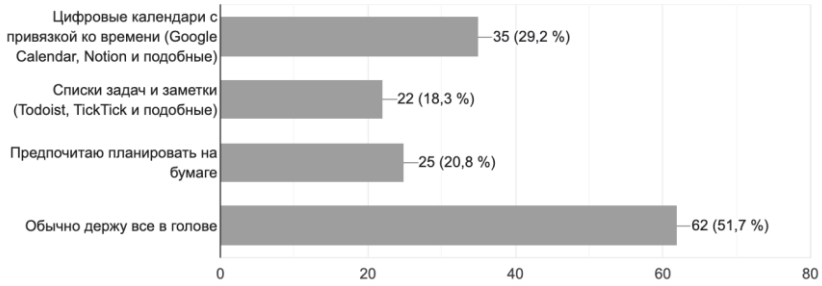


Рисунок 1 – Распределение ответов на вопрос об используемых инструментах для планирования

Одним из возможных способов снижения организационных барьеров является использование цифровых сервисов автоматизированного планирования. Подобные системы позволяют алгоритмически анализировать расписания пользователей и определять общие свободные временные интервалы.

Автоматизация данного процесса позволяет снизить когнитивную нагрузку при анализе расписаний [3], сократить количество коммуникационных итераций между участниками [4], ускорить принятие решения о времени встречи и повысить вероятность реализации совместного досуга.

С инженерно-психологической точки зрения важным фактором эффективности

подобных систем является эргономичность пользовательского интерфейса [5]. Наглядная визуализация временных интервалов, простота создания события и минимизация количества действий пользователя существенно влияют на готовность инициировать встречу.

К основным принципам эргономического проектирования сервисов совместного планирования можно отнести минимизацию числа действий для создания события, наглядное отображение структуры времени, снижение неопределенности при выборе временного интервала, прозрачность статуса участия других пользователей и отсутствие избыточной информационной нагрузки.

Заключение. Исходя из проведенного исследования можно сделать вывод, что процесс поиска общего временного интервала сопровождается значительной когнитивной нагрузкой и требует большого количества коммуникационных действий, а основными причинами снижения регулярности личных встреч являются высокая занятость пользователей, отсутствие четкой системы планирования и сложность согласования времени между несколькими участниками, что также подтверждают результаты проведенного опроса.

На основании проведенного анализа и результатов исследования было принято решение о разработке веб-сервиса TimeTogether, ориентированного на помощь в оптимизации расписания, организации личных встреч и совместного досуга. Основной задачей сервиса является упрощение процесса согласования времени между пользователями и снижение организационных барьеров при планировании совместной активности.

Таким образом, проведенное исследование позволяет интерпретировать цифровые инструменты планирования не только как средства управления временем, но и как технологические решения, способствующие поддержанию социальных связей и снижению риска социальной изоляции.

Список литературы

1. *Electronic coordination and collective action: use and effects of electronic calendaring and scheduling / B. Van den Hooff // Journal of Information Technology. – 2004. – Vol. 19, N 3. – Pp. 215–227. – DOI: 10.1057/palgrave.jit.2000025.*

2. *Togedule: Scheduling Meetings with Large Language Models and Adaptive Representations of Group Availability / J. Song, Z. Ashktorab, T. Malone; preprint arXiv. – 2025. – Vol. 9, N 7. – Pp. 1–24.*

3. *A Review of Communication Research on Automation / J.B. Barbour // Annals of Communication. – 2021. – Vol. 47, N 3. – Pp. 261–278.*

4. *Связь цифровых технологий с развитием когнитивных и коммуникативных процессов подростков и юношей / Н.Я. Агеев, Ю.А. Токарчук, А.П. Коваленко // Психологическая наука и образование. – 2023. – № 1. – Pp. 45–60.*

5. *The impact of digital technology, social media, and artificial intelligence on cognitive functions: a review / M. Shanmugasundaram, A. Tamilarasu; ResearchGate. – 2023. – Vol. 2. – Pp. 1–16. – DOI: 10.3389/fcogn.2023.1203077.*

UDC 004.774:304.442

THE IMPACT OF AUTOMATED WEB-BASED PLANNING SERVICES ON MAINTAINING SOCIAL INTERACTIONS AND PREVENTING SOCIAL ISOLATION IN URBAN ENVIRONMENTS

Astashko V.I.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Medvedev O.S. – Master of Sci., Senior Lecturer at the Department of EPE

Annotation. Examined the impact of automated web-based planning services on organizing collaborative activities and maintaining social interactions. Substantiated their role as a tool for reducing barriers to time coordination and preventing social isolation.

Keywords: collaborative planning, social interactions, time management

УДК 621.397.3–048.24:004.056.5

ВЛИЯНИЕ УДАЛЁННОЙ РАБОТЫ НА КАЧЕСТВО ЖИЗНИ

Иосько М.А., Савин Т.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Рышкель О.С. – к. с.-х н., доцент, доцент кафедры ИПиЭ

Аннотация. Опрошено 87 *IT*-специалистов. Проведена оценка влияния трех режимов работы – полностью офисного, удаленного и гибридного – на здоровье и качество жизни. Выявлены закономерности среди ответов респондентов, их возрастом и режимом работы. Построены диаграммы и тепловые карты, визуально отображающие полученные данные.

Ключевые слова: удалённая работа, гибридный режим, здоровье *IT*-специалистов, баланс работа-жизнь, социальная изоляция, эргономические риски, возрастная стратификация, качество жизни, постпандемийные модели труда

Введение. Трансформация традиционной офисной модели труда в удаленный и гибридный форматы обусловлена развитием информационно-коммуникационных технологий и глобальными социально-экономическими факторами, включая последствия пандемии *COVID*-19. Удаленная работа, предполагающая выполнение профессиональных обязанностей вне корпоративного пространства, и гибридная модель, комбинирующая дистанционную и офисную занятость, демонстрируют значительный потенциал в оптимизации операционных расходов и повышении автономности сотрудников. Смещение управленческого фокуса от прямого пространственного контроля к результатоориентированному подходу способствует росту производительности, однако сопровождается комплексом специфических профессиональных рисков. Отсутствие ежедневной маятниковой миграции и неадаптированность домашних рабочих мест к эргономическим стандартам провоцируют развитие гиподинамии, нарушений опорно-двигательного аппарата и хронического зрительного напряжения. Размытие границ рабочего времени и социальная депривация существенно повышают вероятность эмоционального выгорания и психосоматических расстройств. Актуальность комплексного исследования указанных факторов особенно высока в высокотехнологичном секторе экономики, характеризующемся интенсивными когнитивными нагрузками и непрерывным взаимодействием с цифровой средой [1].

Основная часть. В рамках количественно-качественного исследования проведена оценка влияния различных режимов занятости на качество жизни и здоровье специалистов в сфере информационных технологий. Выборочная совокупность составила 87 сотрудников технологических компаний (в частности, ЮКОЛА и *Innowise*), ядро которой сформировали разработчики программного обеспечения и аналитики данных. Сбор эмпирического материала осуществлялся методом онлайн-анкетирования с применением шкалы Ликерта и открытых вопросов для сбора качественных данных. Выборка была стратифицирована по текущим режимам работы (полностью офисный, полностью удаленный, гибридный) и возрастным когортам (18-30 лет, 31-45 лет, старше 45 лет), что обеспечило возможность выявления демографических паттернов адаптации к условиям труда. Опросный инструментарий включал оценку показателей физического благополучия, психоэмоционального состояния, качества эргономики рабочего места и баланса между трудом и личной жизнью. Контрольными переменными в исследовании выступали стаж работы в текущем формате и наличие предшествующего релевантного опыта, что позволило исключить искажения, связанные с первичной адаптацией респондентов [2].

Анализ собранных данных выявил выраженную дифференциацию эффектов в зависимости от выбранного формата занятости. Группа полностью удаленной работы, включившая 41 респондента, продемонстрировала максимальные показатели временной автономии и оптимизации баланса труда и отдыха за счет ликвидации временных затрат на логистику. Тем не менее данный режим статистически значимо коррелирует с ростом уровня социальной изоляции и размытием границ рабочего дня. Физическое состояние респондентов

в дистанционном формате характеризуется выраженным дефицитом двигательной активности и ростом частоты болевых синдромов в области позвоночника, что напрямую отражает эргономический дефицит домашних рабочих пространств. Улучшение качества сна в данной группе лишь частично компенсирует негативные последствия гиподинамии [3].

Гибридный режим, охвативший 34 участника исследования, позиционируется как оптимальный компромисс. Данный формат обеспечивает умеренную экономию времени при существенном снижении уровня социальной депривации благодаря периодическому офисному присутствию. В гибридной модели зафиксирован рост двигательной активности и снижение соматических жалоб, что подчеркивает профилактический потенциал чередования рабочих сред [4].

Традиционный офисный формат, представленный 12 респондентами, продемонстрировал наименьшую общую удовлетворенность из-за высоких временных издержек и жесткого расписания. Несмотря на сохранение высокого уровня социальной интеграции и естественную профилактику гиподинамии за счет перемещений, показатели стресса и эмоционального выгорания в данной группе оказались повышенными, что свидетельствует о давлении коллективной среды и недостатке автономии.

Возрастной анализ выявил специфические демографические предпочтения. Группа 18-30 лет демонстрирует наибольший прирост субъективной продуктивности в удаленном формате, адаптируясь к цифровой автономии быстрее других групп. Респонденты 31-45 лет отмечают максимальную эффективность гибридной модели, позволяющей интегрировать профессиональную деятельность с возрастающими семейными обязательствами. Сотрудники старше 45 лет также отдают предпочтение гибридному формату ввиду необходимости поддержания психоэмоционального тонуса и минимизации рисков обострения возрастных мускуло-скелетных нарушений. Экономические показатели исследования подтверждают преимущество дистанционных форматов за счет существенного снижения транспортных и сопутствующих расходов, что коррелирует с общим ростом удовлетворенности качеством жизни среди сторонников гибких моделей. Тепловая карта, отображающая результаты опроса представлена на рисунке 1 [5].

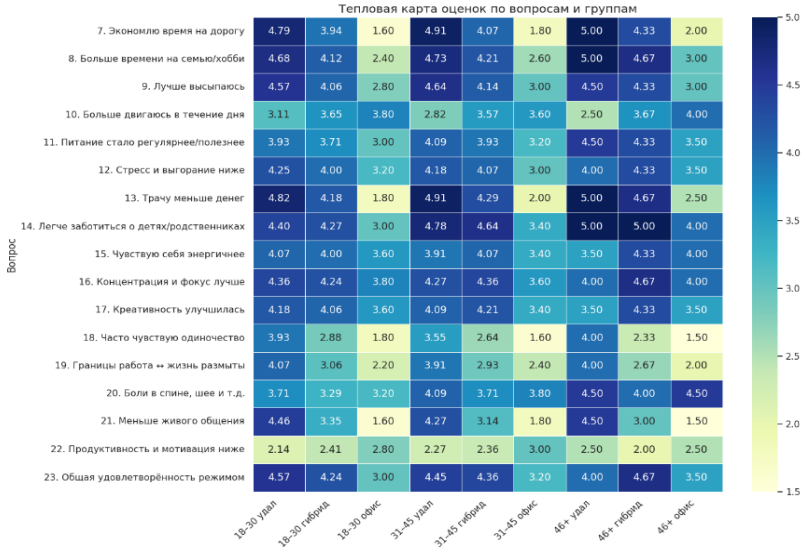


Рисунок 1 – Тепловая карта, отображающая результаты опроса

Эмпирические результаты исследования подтверждают необходимость дифференцированного подхода к организации труда в *IT*-отрасли. Переход от пандемийного принуждения к стратегической интеграции гибких форматов в корпоративные политики требует внедрения механизмов, направленных на нивелирование специфических профессиональных рисков. Для сотрудников, работающих полностью удаленно, критически важной мерой является жесткая регламентация времени отключения от корпоративных систем

связи и внедрение регулярных виртуальных коммуникативных практик для профилактики социальной изоляции. Существенное значение приобретает обязательный корпоративный аудит эргономики домашних рабочих мест и стимулирование физической активности персонала посредством специализированных мотивационных программ. Управление гибридной моделью требует прецизионного планирования присутственных дней для максимизации эффективности очного командного взаимодействия. Регулярный мониторинг уровня профессионального выгорания с использованием стандартизированных метрик позволит руководству своевременно корректировать формат занятости с учетом индивидуального состояния сотрудников [6].

Заключение. Трансформация моделей занятости в высокотехнологичном секторе представляет собой необратимый процесс эволюции трудовых отношений, требующий перехода к научно обоснованному управлению человеческим капиталом. Перспективным направлением оптимизации дистанционного и гибридного труда выступает интеграция технологий искусственного интеллекта для динамического персонализированного планирования графиков на основе объективного биометрического мониторинга. Дальнейшее развитие корпоративных экосистем неизбежно связано с внедрением иммерсивных технологий и виртуальной реальности для симуляции эффекта присутствия. Подобные инновации позволят синтезировать преимущества глобальной географической автономности с полноценной социальной интеграцией, обеспечивая устойчивый рост экономической производительности без ущерба для физиологического и психоэмоционального благополучия специалистов [7].

Список литературы

1. *Aksoy, C. G. et al. Working from Home Around the Globe: 2023 Report. EconPol Policy Brief No. 53 (EconPol, 2023).*

2. *McGlauflin, P. JPMorgan CEO Jamie Dimon chides managers who work from home: 'I don't know how you can be a leader and not be completely accessible to your people'. Fortune (11 July 2023).*

3. *Kelly, J. Goldman Sachs tells employees to return to the office by July 14, as Wall Street pushes back on the work-from-home trend. Forbes (5 May 2021).*

4. *Goswami, R. Elon Musk: Working from home is 'morally wrong' when service workers still have to show up. CNBC (16 May 2023).*

5. *Barrero, J. M., Bloom, N. & Davis, S. J. Why Working from Home Will Stick. National Bureau of Economic Research (NBER) Working Paper No. 28731 (NBER, 2021).*

6. *The Economist. The working from home illusion fades. Economist (28 Jun 2023).*

7. *Barrero, J. M., Bloom, N. & Davis, S. J. The Evolution of Working from Home. Stanford Institute for Economic Policy Research (SIEPR) Working Paper No. 23-19 (SIEPR, 2023).*

UDC 621.397.3–048.24; 004.056.5

APPLICATION THE IMPACT OF REMOTE WORK ON QUALITY OF LIFE

Iosko M.A., Savin T.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Scientific supervisor: Ryshkel O.S. – Cand. of Sci, associate professor, associate professor of the Department of ICSD

Annotation. A survey of 87 IT specialists was conducted. The impact of three work modes – fully office-based, remote, and hybrid – on health and quality of life was assessed. Patterns were identified among respondents' answers in relation to their age and work mode. Diagrams and heatmaps were created to visually represent the obtained data.

Keywords: remote work, hybrid mode, IT specialists' health, work-life balance, social isolation, ergonomic risks, age stratification, quality of life, post-pandemic work models.

УДК 631.95:629.7.06

АГРОДРОНЫ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ: ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕСЕНИЯ ПЕСТИЦИДОВ И СНИЖЕНИЕ РИСКОВ

Подрябинкин З.Д., Джалилова Н.Р.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Цявловская Н.В. – магистр технических наук, ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. В статье оценивается экономическая оправданность использования беспилотных летательных аппаратов для минимизации контакта человека с пестицидами, ядохимикатами в сельском хозяйстве. Проводится сравнение эффективности и рисков применения беспилотных летательных аппаратов для проведение обработки посевов растительных культур в сравнении с другими видами техники.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты; сельское хозяйство; пестициды.

Введение. Применение дронов в сельском хозяйстве осуществляется по двум основным направлениям: мониторинг урожайности сельскохозяйственных культур и проведение обработки (опрыскивание) посевов растительных культур против вредителей, болезней [1]. Использование агродронов для аэрофотосъёмки позволяет получать данные о состоянии посевов, что является основой концепции ведения грамотных агротехнических мероприятий [2]. БЛА способны дифференцированно вносить требуемые дозы пестицидов, гербицидов и других химических веществ на труднодоступные участки полей, уменьшая финансовые затраты на проведение таких мероприятий. Механик – оператор при опрыскивании находится вне зоны полевых работ, избегая возможного контакта с химически активными веществами.

Однако внедрение БЛА в сельском хозяйстве сопряжено с экономическими рисками и консервативностью отрасли. На данный момент в России только формируется практика внедрения БЛА в экономику посредством экспериментальных правовых режимов [3]. Общий эксперимент по внедрению БЛА в сельском хозяйстве завершится осенью 2026 года [4].

Основная часть. Для предотвращения случаев отравления при работе с пестицидами в Республике Беларусь действует постановление от 27.09.2017 №149 [5]. Постановление предусматривает меры по герметизации кабин техники, применение средств индивидуальной защиты и т.д. для работников сельского хозяйства. Тем не менее, во время внесения пестицидов существуют риски отказа систем или исключительных ситуаций, способных привести к контакту человека с ядовитыми химическими веществами. Данные риски можно уменьшить при применении БЛА для внесения поверхностно-активных веществ. Поскольку для внедрения новой технологии важны не только строгое соблюдение техники безопасности, но и экономическая целесообразность, далее в исследовании будет сделан сравнительный анализ применения тракторного опрыскивателя (МТЗ-82 + ОН-600-12), агродрона DJI Agras T30 и самоходного опрыскивателя БАРС ОС-2500.

Основными параметрами для сравнения являются производительность и степень обработки посевов, часовой и удельный расход топливно-энергетических ресурсов, расход рабочего химического раствора (таблица 1). Часть данных находится в открытом доступе на сайте производителей: официальные спецификации DJI Agras T30 [6], технические характеристики опрыскивателя «БАРС ОС-2500» [7]. Технические данные производительности трактора с прицепным опрыскивателем взяты из исследования, где расчёты проводились по произведенным работам – обработки рапсового поля [8].

Таблица 1 – Сравнительные эксплуатационные показатели MTZ-82 + ОН-600-12, DJI Agras T30, БАРС-2500

Параметр сравнения	**Тракторный опрыскиватель (МТЗ-82 + ОН-600-12)**	**Агродрон (DJI Agras T30 при работе с заправочным комплексом)**	**Самоходный опрыскиватель БАРС ОС-2500**
Производительность, га/ч	9 – 14	9 – 18	35 – 40
Часовой расход топливно-энергетических ресурсов	18 л/ч дизельного топлива	1,25 л/ч дизеля (16,2 МДж/ч электроэнергии)	12 – 14 л/ч дизельного топлива
Удельный расход топлива на га	2,25 – 3 л/га	0,07 – 0,13 л/га (0,9 – 0,18 МДж/га)	до 0,35 л/га
Объём бака для рабочего раствора	600 л	30 л	2500 л
Расход рабочего раствора, л/га	42 – 354	5 – 25	42 – 354
Стоимость оборудования	106 000 BYN	60 000 BYN	Около 200 000 BYN

Основные отличия между методами опрыскивания:

1 Производительность (скорость работы): самоходный опрыскиватель БАРС ОС-2500 обладает наибольшей производительностью (35–40 га/ч), подходит для обработки больших площадей. Тракторный прицепной опрыскиватель (МТЗ-82 + ОН-600-12) и агродрон DJI Agras T30 имеют сопоставимую производительность (9–14 га/ч и 9–18 га/ч соответственно), что делает их полезными для средних и малых хозяйств. Применение агродрона эффективнее при сложном рельефе и в применение химических веществ в лесных хозяйствах [9]. Также недостаток в скорости обработки может быть скомпенсирован применением нескольких БЛА одним оператором.

2 Топливная эффективность: агродрон демонстрирует наименьший расход топлива. При емкости аккумулятора 29 А/ч и 3-разовых вылетах в час [10] дизельный генератор на 8 кВт с расходом 2,5 л/ч расходует 1,25 л/ч топлива для полной зарядки дрона, что обеспечивает удельный расход 0,07–0,13 л/га. Самоходный опрыскиватель БАРС ОС-2500, по данным лизинговой компании, имеет удельный расход не более 0,35 л/га [11], а тракторный опрыскиватель потребляет 18 л/ч (2,25–3 л/га).

3 Расход рабочего раствора и логистика: тракторный и самоходный опрыскиватели, использующие форсунки типа ID-K на скорости 8 км/ч, расходуют от 42 до 354 л/га рабочего раствора. Агродрон, благодаря меньшему расходу воды, требует всего 5–25 л/га, что позволяет существенно улучшить полевую логистику.

Анализ рисков будет проведён посредством логического моделирования. Тяжесть последствий - одинакова для всех трех вариантов. Опасной ситуацией можно считать отказ техники во время работы. Для трактора МТЗ-82 риск неисправности составляет 0,3% в час (1 неисправность на 300 мотор-часов). Для агродрона риск падения рядом с оператором рассчитаем по формуле 1:

$$R = \frac{R_{\text{отк}}}{60} \times t_{\text{взл}} \times n, \quad (1)$$

где $R_{отк}$ – вероятность отказа гражданского БЛА за час (0,1% [12]),

$t_{\text{взл}}$ – время взлёта БЛА (0,5 мин), n – количество вылетов в час (3 вылета).

В результате вероятность контакта с химически опасными веществами у оператора БЛА составляет 0,0025%, что в 100 раз ниже вероятности рисков контакта с ядохимикатами у водителя трактора. Таким образом, внедрение агродронов уменьшает риск контакта работников с применяемыми в сельском хозяйстве пестицидами, ядохимикатами и прочими опасными для человека химическими веществами. Также, применение агродронов снижает потери вносимых в почву минеральных веществ, тем самым уменьшая количество применяемого раствора без влияния на уровень урожайности сельскохозяйственных культур и оставаясь экономически целесообразным. Это может положительно сказаться и на эффективность и экологичность, дозированность использования пестицидов в сельском

хозяйстве Республике Беларусь в целом [13].

Заключение. В результате исследования были получены подтверждения экономической целесообразности использования беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве для мониторинга урожайности сельскохозяйственных культур и проведение обработки посевов растительных культур против вредителей, болезней. Результатом применения агродронов могут стать снижение рисков отравления и вредного влияния на здоровье работников сельского хозяйства опасными химическими веществами, применяемыми при проведении агротехнических работ.

Список литературы

1. *Цифровая трансформация сельского хозяйства на основе беспилотных летательных аппаратов / Шайтура С.В. [и др.] // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 7. – С. 174–178.*
2. *Drones in Precision Agriculture: A Comprehensive Review of Applications, Technologies, and Challenges // Издательство научных журналов «MDPI» [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.mdpi.com/2504-446X/8/11/686. Дата доступа: 18.02.2026.*
3. *Сводный аналитический отчет о результатах мониторинга реализации экспериментального правового режима в сфере цифровых инноваций по эксплуатации беспилотных систем в Томской области [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.economy.gov.ru/material/file/download/579c4addafd61ebcb608c727dc635ad0/svodniy_analiticheskiy_otchet.pdf. Дата доступа: 20.02.2026.*
4. *Постановление об установлении экспериментального правового режима в сфере цифровых инноваций и утверждении программы экспериментального правового режима в сфере цифровых инноваций по эксплуатации сельскохозяйственных беспилотных авиационных систем // Официальный сайт Правительства России [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://static.government.ru/media/acts/files/1202309190014.pdf. Дата доступа: 22.02.2026.*
5. *Санитарные нормы и правила «Требования к применению, условиям перевозки и хранения пестицидов (средств защиты растений), агрохимикатов и минеральных удобрений»: утверждены Постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь 27 сентября 2012 г. № 149 // Информационный портал «Pravo.by» [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21226455p/. Дата доступа: 02.03.2026.*
6. *Технические характеристики DJI Agras T30 // Официальный сайт DJI [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.dji.com/global/t30/specs. Дата доступа: 03.03.2026.*
7. *Опрыскиватель самоходный «БАРС ОС-4000М»: технические характеристики // Сайт компании «Агропромсила» [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://agropromsila.by/directions/bars-os-4000m/. Дата доступа: 03.03.2026.*
8. *Поляков, А. Ю. Опыт применения беспилотных летательных аппаратов при выполнении сельскохозяйственных работ / А. Ю. Поляков, О. Н. Скрыпник // Беспилотные аппараты «БПЛА – 2024» : сборник статей Междунар. молодежного форума, Минск, 22–26 апреля 2024 г. – Минск : БГТУ, 2024. – С. 106-110.*
9. *Жданович, С. А. Опыт применения БЛА для защиты лесного фонда от вредителей и болезней // Электронный архив Белорусского государственного технологического университета [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://elib.belstu.by. Дата доступа: 04.03.2026.*
10. *Борисенко, И. Б. Параметры применения беспилотных летательных аппаратов при обработке средствами защиты растений сельскохозяйственных культур / И. Б. Борисенко, М. В. Мезникова, Е. И. Улыбина [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://cyberleninka.ru. Дата доступа: 04.03.2026.*
11. *Опрыскиватель самоходный БАРС ОС-2500М2 6х4: технические характеристики // Сайт лизинговой компании «Верум-Агро» [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://verum-agro.ru/katalog/tehnika-dlya-zawity-rastenij/opryskivatel/bars-os-2500m2-6h4-125694/. – Дата доступа: 04.03.2026.*
12. *UAS Operators Safety and Reliability Survey: Emerging Technologies towards the Certification of Autonomous UAS / M. Osborne // 4th International Conference on System Reliability and Safety (ICSRS) [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/339171009_UAS_Operators_Safety_and_Reliability_Survey_Emerging_Technologies_towards_the_Certification_of_Autonomous_UAS. Дата доступа: 04.03.2026.*
13. *Внесение пестицидов // Официальный сайт Национального статистического комитета Республики Беларусь (Белстат) [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayuschaya-sreda/sovmestnaya-sistema-ekologicheskoi-informatsii2/f-2-vnesenie-udobrenii/f-4-vnesenie-pestitsidov/. Дата доступа: 04.03.2026.*

UDC 631.95:629.7.06

AGRODRONES IN AGRICULTURE: EFFICIENCY OF PESTICIDE APPLICATION AND RISK REDUCTION

Podryabinkin Z.D., Jalilova N.R.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Tsyavlovskaya N. V.– Master of Sci., Senior Lecturer at the Department of IPIE

Annotation. The article assesses the economic feasibility of using unmanned aerial vehicles to minimize human contact with pesticides in agriculture. A comparison is made of the effectiveness of using unmanned aerial vehicles for spraying in comparison with other types of equipment.

Keywords: unmanned aerial vehicles; drones; agriculture; pesticides.

УДК 004.738.1:821.161.1

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ РУССКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ В ШКОЛЕ

Химорода В.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Цявловская Н.В. – магистр технических наук, ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. В статье рассматривается веб-приложение, представляющее собой централизованную образовательную платформу для изучения русской литературы в рамках программы 10–11 классов средней общеобразовательной школы. Акцент сделан на актуальность создания специализированного цифрового ресурса, его функциональное назначение и эргономические принципы организации пользовательского взаимодействия. Описываются ключевые возможности системы, ориентированные на различные категории пользователей, и подходы к обеспечению комфортной работы с контентом.

Ключевые слова: веб-приложение, образование, русская литература, эргономика, UX/UI, адаптивный интерфейс, цифровая библиотека.

Введение. Современный образовательный процесс требует интеграции цифровых технологий, обеспечивающих доступность, наглядность и интерактивность учебных материалов. Особую актуальность это приобретает в контексте изучения гуманитарных дисциплин, таких как литература, где традиционные методы могут быть дополнены инновационными цифровыми решениями. Существующие платформы часто являются либо коммерческими, либо не учитывают специфику школьной программы и эргономические требования к длительной работе с текстом. Данное специализированное веб-приложение направлено на решение этих задач путем создания бесплатной, удобной и функциональной платформы для систематизированного изучения русской литературы учащимися 10–11 классов средней общеобразовательной школы.

Основная часть. В условиях цифровизации образования возрастает потребность в специализированных ресурсах, объединяющих библиотеку произведений, учебные программы и инструменты для интерактивной работы. Разрабатываемое веб-приложение призвано ликвидировать разрозненность источников, предоставив единую точку доступа к произведениям русской литературы в соответствии со школьной программой [1].

Разработка приложения обусловлена тремя ключевыми факторами. Во-первых, преодоление фрагментарности: пользователю не требуется искать материалы в различных источниках, так как все необходимые материалы собраны в едином каталоге, структурированном по различным критериям. Во-вторых, доступность: приложение полностью бесплатно и кроссплатформенно, с необходимостью работы только в браузере. В-третьих, эргономика: интерфейс разработан с учетом особенностей длительного чтения и современных пользовательских привычек [2].

Центральным элементом приложения является каталог произведений, который можно фильтровать по критериям: автор, жанр, исторический период, класс обучения и по базовой или профильной программе обучения. Пользователь может быстро найти необходимое произведение, ознакомиться с метаданными и перейти к чтению или скачиванию.

Универсальная система чтения в веб-приложении представлена в виде встроенного ридера. Процесс чтения упрощен: пользователь нажимает кнопку «Читать онлайн», получая текст в удобном оформлении. Ридер обеспечивает персонализацию: доступно изменение размера и типа шрифта, переключение цветовой схемы и настройка межстрочного интервала. Система автоматически сохраняет прогресс чтения, что позволяет пользователю продолжать с того же места при следующем использовании приложения.

Функционал персональных коллекций позволяет зарегистрированным пользователям формировать собственные подборки произведений и отслеживать прочитанное. В каталоге также предложены различные категории, сформированные автоматически по тем или иным

критериям или администратором. Административная часть решает задачу наполнения и актуализации контента: сотрудники школы могут добавлять новые произведения и сведения об авторах, редактировать записи и управлять структурой программ и тегов. Техническая сложность обработки форматов и хранения контента скрыта от администратора.

Эргономические аспекты проекта базируются на анализе целевой аудитории. Реализованы требования к управляемости и освояемости интерфейса [3]. Психологические требования обеспечивают предсказуемость и единообразие действий интерфейса. Психофизиологические требования направлены на снижение утомляемости: обеспечен высокий контраст текста и фона и использованы специализированные цветовые схемы [4].

С технической точки зрения приложение построено на базе современного стека технологий. Backend-часть реализована на платформе Spring Boot, что обеспечивает надежность серверной логики и безопасности посредством встроенных механизмов аутентификации и авторизации [5]. В качестве системы управления базами данных используется PostgreSQL. Клиентская часть разработана с использованием фреймворка Vue.js, что позволяет создавать динамичный интерфейс с высокой скоростью отклика [6].

Заключение. Разработанное веб-приложение представляет собой полнофункциональную образовательную платформу, которая решает задачу централизации и систематизации доступа к произведениям русской литературы для школьников. Реализованный с учетом эргономических принципов интерфейс и гибкая система работы с различными форматами электронных книг создают комфортные условия для изучения литературы. Внедрение данного приложения в образовательный процесс способствует повышению мотивации учащихся, упрощению работы преподавателей и популяризации чтения за счет удобства и доступности цифрового контента.

Список литературы

1. *Роберт, И. В. Теория и методика информатизации образования (психолого-педагогический и технологический аспекты) / И. В. Роберт. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. – 398 с.*

2. *Шупейко, И. Г. Эргономическое проектирование систем «человек – машина» : пособие / И. Г. Шупейко. – Минск : БГУИР, 2017. – 80 с.*

3. *Баканов, А. С. Эргономика пользовательского интерфейса: от проектирования к моделированию человеко-компьютерного взаимодействия / А. С. Баканов, А. А. Обознов. – М. : Институт психологии РАН, 2011. – 176 с.*

4. *Нильсен, Я. Веб-дизайн: книга Якоба Нильсена / Я. Нильсен, Х. Лоранжер. – СПб. : Символ-Плюс, 2017. – 512 с.*

5. *Мазуров, М. В. Разработка веб-приложений в Spring Framework 5 / М. В. Мазуров. – СПб. : БХВ-Петербург, 2020. – 496 с.*

6. *Фримен, А. Vue.js в действии / А. Фримен. – М. : ДМК Пресс, 2021. – 480 с.*

UDC 004.738.1:821.161.1

WEB APPLICATION FOR STUDYING RUSSIAN LITERATURE AT SCHOOL

Khimaroda V.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Tsyavlovskaya N.V – Master of Sci., Senior Lecturer at the Department of EPE

Annotation. The article discusses a web application that serves as a centralized educational platform for studying Russian literature within the 10th–11th grade curriculum of secondary schools. Emphasis is placed on the relevance of creating a specialized digital resource, its functional purpose, and the ergonomic principles of organizing user interaction. The key features of the system aimed at different user categories and approaches to ensuring comfortable work with literary content in various formats are described.

Keywords: web application, education, Russian literature, ergonomics, UX/UI, responsive interface, digital library.

УДК 004.9: 331.101.1

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТУРИСТИЧЕСКОГО АГЕНТСТВА И ЕЁ ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Ефименко Р.Н.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Яцкевич А.Ю. – магистр педагогических наук , старший преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. В статье описывается автоматизированная система поддержки деятельности туристического агентства, направленная на повышение эффективности работы персонала и качества обслуживания клиентов. Актуальность разработки обоснована недостаточной эффективностью существующих программных решений и необходимостью создания адаптированной автоматизированной системы, учитывающей специфику деятельности туристического агентства. Проведенное эргономическое проектирование пользовательского интерфейса позволило обеспечить высокие показатели управляемости и освояемости. Реализация системы была выполнена с использованием ASP.NET Core MVC и СУБД Microsoft SQL Server.

Ключевые слова: автоматизированная система, туристическое агентство, веб-приложение, эргономическое обеспечение.

Введение. Широкое внедрение автоматизированных информационных систем в деятельность туристических агентств выдвигает задачу повышения эффективности работы персонала и качества информационного взаимодействия с пользователем на одно из приоритетных мест. Недостаточное внимание к целям пользователей, проектированию наиболее эффективных алгоритмов их работы, проектированию пользовательского интерфейса может приводить к увеличению когнитивной нагрузки, снижению результативности деятельности и удовлетворенности пользователей выполнения основных операций, что обусловливает необходимость эргономического проектирования разрабатываемого веб-приложения [1].

Основная часть. В настоящее время в деятельности туристических агентств применяются как специализированные программные продукты, так и универсальные средства автоматизации. К наиболее распространённым решениям относятся CRM-системы для туристического бизнеса, онлайн-системы бронирования туров и гостиниц, а также офисные программные средства. Например, во многих туристических агентствах до сих пор применяются универсальные офисные приложения (таблицы, текстовые документы) для учёта клиентов, туров и заказов. Данный подход отличается низким уровнем автоматизации, отсутствием целостной базы данных, сложностью контроля актуальности информации и ограниченными возможностями коллективной работы. Кроме того, такие методы не обеспечивают должного уровня эргономичности и требуют значительных временных затрат на выполнение типовых операций [2].

Анализ существующих методов и программных аналогов показал, что используемые решения либо не полностью соответствуют специфике деятельности туристического агентства, либо не учитывают эргономические требования к пользовательскому интерфейсу и сценариям взаимодействия. Выявленные недостатки обосновывают необходимость разработки собственной автоматизированной системы поддержки деятельности туристического агентства, ориентированной на оптимизацию бизнес-процессов, повышение удобства работы персонала и снижение трудоёмкости основных операций.

Нами была разработана автоматизированная система поддержки деятельности туристического агентства, предназначенная для автоматизации основных бизнес-процессов, включая обработку заявок и заказов от клиентов, управление предложениями бизнес-партнёров, ведение справочной информации и формирование отчётности, связанной с деятельностью турагентства.

На основе анализа предметной области и функциональных требований определены основные категории пользователей системы: администратор, менеджер по туризму и руководитель. Для формализации функциональных возможностей системы разработана диаграмма вариантов использования представленная на рисунке 1, отражающая доступные пользователям операции и их распределение по ролям. Диаграмма позволяет наглядно представить структуру взаимодействия пользователей с системой и используется в качестве основы для проектирования пользовательского интерфейса.

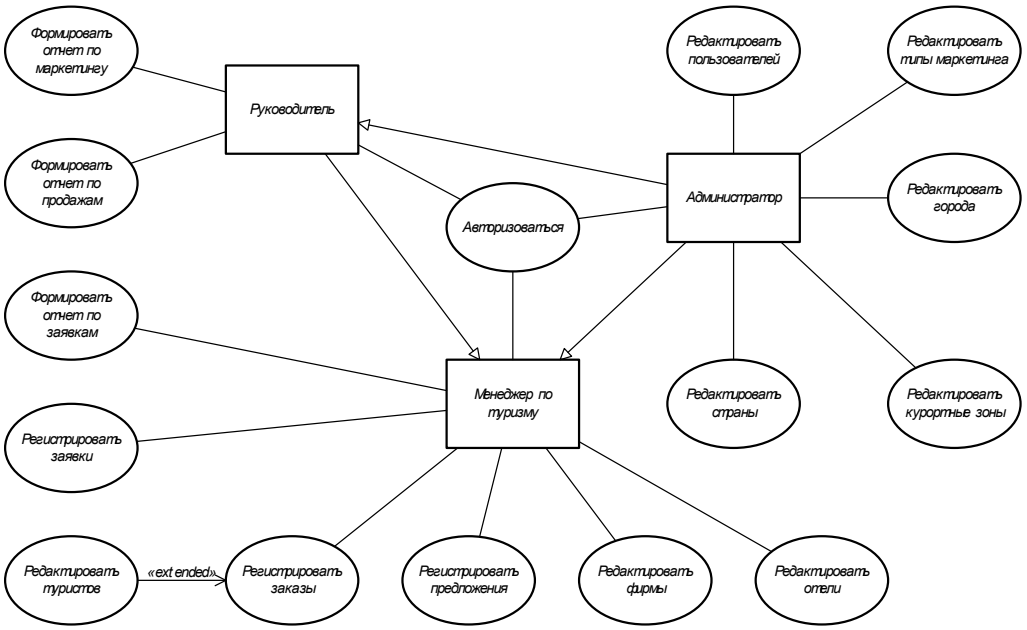


Рисунок 1 – Диаграмма вариантов использования

Распределение функций между пользователем и системой выполнено с учетом преимущественных возможностей человека и технических средств. Пользователь осуществляет ввод и контроль данных, принятие решений и выбор сценариев работы, тогда как автоматизированная система обеспечивает хранение, обработку информации, формирование отчетов и контроль корректности вводимых данных [3].

Алгоритмы работы пользователей спроектированы таким образом, чтобы обеспечить достижение ими рабочих и личных целей с минимальными затратами времени.

Разработка и учет психофизиологических, психологических эргономических требований позволил создать веб-приложение с высокими показателями эргономичности: управляемость – 0,763; освояемость – 0,656; эргономичность – 0,731.

При создании программной части автоматизированной системы использовались современные технологии и программные средства, обеспечивающие надёжность, масштабируемость и удобство дальнейшего сопровождения. В качестве серверной платформы используется фреймворк ASP.NET Core MVC, позволяющий реализовать архитектуру с чётким разделением логики представления, бизнес-логики и доступа к данным. Для хранения и обработки информации применяется СУБД Microsoft SQL Server, обеспечивающая целостность данных, поддержку транзакций и высокую производительность при работе с большими объёмами информации. При разработке пользовательского интерфейса используются веб-технологии HTML, CSS и JavaScript, что позволяет сделать пользовательский интерфейс доступным через веб-браузер без установки дополнительного программного обеспечения. Выбор указанных технологий обеспечивает соответствие разрабатываемой системы современным требованиям к автоматизированным информационным системам [4].

В процессе тестирования автоматизированной системы поддержки деятельности туристического агентства была проведена эвристическая оценка пользовательского

интерфейса на основе десяти эвристик удобства использования, предложенных Якобом Нильсеном. В ходе тестирования проверялось соответствие интерфейса таким принципам, как наглядность состояния системы, соответствие интерфейса реальному рабочему процессу пользователя, единообразие элементов управления, предотвращение ошибок и минимизация когнитивной нагрузки. Особое внимание уделялось логичности навигации, понятности терминологии и удобству выполнения типовых операций.

Заключение. Разработана автоматизированная система поддержки деятельности туристического агентства, ориентированная на комплексную автоматизацию основных бизнес-процессов и повышение эффективности работы персонала.

Проведённый анализ предметной области и существующих программных решений позволил обосновать необходимость создания системы, учитывающей специфику деятельности туристического агентства и требования эргономического проектирования. В процессе проектирования были определены категории пользователей, формализованы функциональные возможности системы и выполнено рациональное распределение функций между человеком и программным обеспечением. Разработанные алгоритмы работы пользователей обеспечивают достижение рабочих целей с минимальными временными затратами и снижением когнитивной нагрузки.

Применение современных технологий разработки, а также проведение эвристической оценки пользовательского интерфейса подтвердили соответствие созданной системы требованиям надёжности, удобства и эффективности взаимодействия.

Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности внедрения разработанного веб-приложения в деятельность туристических агентств для оптимизации их работы и повышения качества обслуживания клиентов.

Список литературы

1. *Морозов, А.В. Автоматизация деятельности туристических предприятий / А.В. Морозов, И.С. Лебедев ; под ред. д-ра техн. наук А.В. Морозова. – Москва : Инфра-М, 2021. – 256 с.*

2. *Кулябин, В.В. Основы проектирования информационных систем / В.В. Кулябин, С.Н. Орлов. – Санкт-Петербург : Питер, 2020. – 320 с.*

3. *Дмитриева, Н.А. Эргономика пользовательских интерфейсов информационных систем / Н.А Дмитриева, П.В. Захаров // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2022. – № 3. – С. 45–57.*

4. *Соммервилл, И. Проектирование и разработка программных систем / И. Соммервилл ; пер. с англ. – Москва : Вильямс, 2019. – 824 с.*

UDC 004.9: 331.101.1

AUTOMATED SUPPORT SYSTEM FOR TRAVEL AGENCY ACTIVITIES AND ITS ERGONOMIC SUPPORT

Efimencko R.N.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

A.Y. Yatskevich – Master of Pedagogical Sciences, Senior Lecturer at the DEPE

Annotation. The article describes an automated system designed to support the activities of a travel agency, aimed at improving staff efficiency and the quality of customer service. The relevance of the development is justified by the insufficient effectiveness of existing software solutions and the need to create an adapted automated system that takes into account the specific features of travel agency operations. The ergonomic design of the user interface ensured high levels of controllability and learnability. The system was implemented using ASP.NET Core MVC and Microsoft SQL Server DBMS.

Keywords: automated system, travel agency, web application, ergonomic design.

УДК [004.774+378]:331.101.1

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ КОНСПЕКТИРОВАНИЯ С АДАПТИВНОЙ СИСТЕМОЙ ИНТЕРВАЛЬНЫХ ПОВТОРЕНИЙ И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Малахова К.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Пархоменко Д.А. – магистр техники и технологии, ст. преподаватель кафедры ИПиЭ,

Аннотация. В статье рассматривается разработка веб-приложения, предназначенного для конспектирования со встроенной системой интервальных повторений. Основное внимание уделено эргономике и удобству использования приложения, что позволяет пользователям совмещать конспектирование и составление карточек для интервального повторения. Приложение обеспечивает интуитивно понятный интерфейс, адаптивность дизайна и широкий функционал для запоминания материала.

Ключевые слова: веб-приложение, запоминание, интервальные повторения, конспектирование, когнитивная нагрузка.

Введение. Студенты, а также специалисты, занятые в сферах с высокой интенсивностью обновления знаний, сталкиваются с проблемой быстрого роста объемов информации, необходимой для запоминания. Согласно кривой забывания Эббингауза, через 20 минут после заучивания студенты помнят лишь 60 % материала, спустя девять часов – 40 %, а через месяц – чуть больше 20%. Согласно данной концепции, без закрепления и повторения мы не способны удержать знания даже на относительно короткое время [1]. В современных реалиях информационной перегрузки мозга данная проблема является достаточно важной и распространенной.

Анализ общепринятых методов обучения показывает, что конспектирование решает проблему структурирования материала и его первичной фиксации, но не активирует механизмы долговременной памяти. Зачастую знания закрепляются либо в краткосрочной, либо в оперативной памяти человека. В свою очередь метод интервальных повторений показал свою эффективность, но традиционно не интегрируется с конспектированием, а используется в виде отдельного приложения с карточками-опросами. Это приводит к дополнительной работе, потому что студент сначала оформляет конспект в одном приложении или вручную, а после переходит в приложение для повторений и отдельно создает карточки на основе заранее структурированного материала. Данный алгоритм обучения неудобен и менее эффективен, чем алгоритм, в котором пользователь использует одно приложение и для конспектирования, и для прохождения тестов по материалу. Эргономика последовательности с участием двух приложений часто нарушает когнитивный поток, вынуждая пользователя переключаться между несвязными интерфейсами.

Веб-приложение направлено на увеличение объемов запоминаемого материала, а также на его качество за счет использования алгоритмов интервального повторения. Оно должно повысить удобство взаимодействия со структурированным материалом путем внедрения интуитивно понятного интерфейса и адаптивного дизайна.

Основная часть. Разработанное веб-приложение построено на современном стеке технологий. Выбор инструментов обусловлен требованиями к кроссплатформенности, производительности, надежности хранения данных и эргономичности пользовательского интерфейса.

В качестве основного серверного языка программирования выбран PHP с версией 8.2 и выше. Данный язык программирования обладает широким инструментарием для веб-разработки и нативной поддержкой работы с протоколом HTTP. Высокая скорость выполнения скриптов в актуальных версиях позволяет обрабатывать запросы к адаптивному алгоритму интервальных повторений в реальном времени без длительных задержек. PHP

предоставляет развитые средства для работы с сессиями пользователей. Также хорошо интегрируется с системой управления базами данных PostgreSQL, что обеспечивает унифицированный доступ к данным [2].

Для обеспечения высокой производительности и отказоустойчивости используется связка Nginx + PHP-FPM.

Nginx выбран в качестве фронт-сервера благодаря асинхронной архитектуре, которая эффективно обрабатывает большое количество одновременных соединений. Данная технология выполняет роль прокси-сервера, отдавая статические файлы, перенаправляя динамические запросы на PHP-FPM.

PHP-FPM используется для обработки PHP-скриптов. Данная технология позволяет изолировать выполнение пользовательских скриптов и гибко настраивать потребление ресурсов, что критично для стабильности работы алгоритмов адаптивного планирования повторений.

Для хранения и обработки данных выбрана объектно-реляционная система управления базами данных PostgreSQL. Архитектура базы данных включает таблицы для хранения информации о пользователях, ментальных карт, карточек с тестами по материалу и истории ответов. PostgreSQL эффективно работает с JSON-полями, что позволяет хранить гибкие метаданные для каждой карточки.

Приложение предоставляет широкий спектр функций, направленных на эффективное запоминания материала:

– создание визуального конспекта. Пользователь выбирает тип конспекта (ментальная карта, блок-схема, диаграмма). Система предоставляет холст и панель инструментов для добавления узлов, связей, текста, цветового оформления;

– редактирование структуры конспекта. Пользователь может изменять существующие элементы конспекта: перетаскивать узлы, изменять связи между ними, редактировать текст внутри узлов, изменять иерархию. Все изменения сразу отображаются на холсте с возможностью отмены действия;

– добавление мультимедийных элементов в конспект. Через панель инструментов или контекстное меню пользователь может добавлять к узлам конспекта изображения (загрузка с устройства или по URL), аудио-заметки (запись с микрофона или загрузка файла), цветовые метки и иконки. Система отображает превью медиа-файлов;

– прохождение тестов в соответствии с алгоритмом интервальных повторений. На основе введённых данных (сложность материала, желаемая частота повторений) система формирует график повторений. Алгоритм учитывает историю ответов пользователя для корректировки интервалов;

– отметка о выполнении повторения. После открытия конспекта для повторения пользователь изучает материал и отмечает степень усвоения («Сложно», «Нормально», «Легко»). На основе этой оценки система пересчитывает интервал до следующего повторения;

– просмотр статистики прогресса обучения. Пользователь видит графики и цифры: количество повторений, процент усвоения материала, прогноз запоминания;

– добавление текстовых аннотаций и заметок к элементам конспекта. При выделении узла на панели инструментов появляется кнопка «Добавить заметку». Пользователь вводит текст в всплывающем окне. Заметка сохраняется и отображается при наведении курсора на специальный значок рядом с узлом;

– сохранение конспекта в различных форматах (pdf, png);

– архивирование пройденных ментальных карт. После прохождения необходимого материала пользователь может архивировать ментальную карту, чтобы она не отображалась в общем списке;

– удаление и восстановление созданных карт. Пользователь может перенести ментальную карту в корзину и в течение 30 дней восстановить ее в список основных карт. По истечению 30 дней ментальная карта удаляется из базы данных и не подлежит восстановлению;

– предоставление возможности поделиться ментальной картой. Пользователь может поделиться ссылкой на ментальную карту для ее просмотра сторонним пользователем путем нажатия на иконку «Поделиться» на странице редактирования карты, а также на странице

списка карт пользователя.

Особое внимание при разработке приложение уделено эргономике и пользовательскому опыту. Интерфейс приложения разработан с учетом принципов, предложенных в работе Якоба Нильсена «10 эвристик юзабилити» [3]. Интерфейс позволяет видеть ясный статус системы: при сохранении конспекта, изменении данных профиля и составлении карточки для интервального повторения высвечивается уведомление «Сохранено». Интерфейс также поддерживает эвристику последовательности и стандартов: система однородна, с едиными функциями, обозначениями и понятиями. Интерфейс интуитивно понятен, все необходимые функции расположены в пределах 3 кликов. Дизайн адаптивен: иконки меню при уменьшении экрана переходят в отображающийся список после клика на него. Также реализована функция обратной связи для решения проблем, связанных с программой: в систему внедрены такие элементы помощи как часто задаваемые вопросы и ответы на них, а также форма для связи с сотрудником, отвечающим за помощь клиентам сайта.

Заключение. В результате разработки было создано веб-приложение, которое с помощью алгоритма интервальных повторений и структурирования конспектов в ментальные карты (диаграммы, блок-схемы) позволяет пользователю запоминать материал гораздо эффективнее. Благодаря использованию эвристики Нильсена, интерфейс удобен в использовании и интуитивно понятен, что помогает эффективно работать с веб-приложением и находить необходимые функции без посторонней помощи и обучения.

Список литературы

1. *Что такое кривая забывания и как помочь студентам запомнить информацию надолго [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://skillbox.ru/media/education/chto-takoe-krivaya-zabyvaniya/. Дата доступа: 15.02.2026.*

2. *PostgreSQL PHP: Connect to PostgreSQL Database Using PDO [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://neon-next-pp.vercel.app/postgresql/postgresql-php/connect. Дата доступа: 16.02.2026.*

3. *Эвристики Нильсена: 10 принципов юзабилити дизайна сайтов Эвристики Нильсена: 10 принципов юзабилити дизайна сайтов [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://practicum.yandex.ru/blog/evristiki-nilsena-v-dizayne-interfeysov/#obzor-10-evristik-nilsena. Дата доступа: 17.02.2026.*

UDC [004.774+378]:331.10.1

WEB APP FOR NOTE-TAKING WITH AN ADAPTIVE INTERVAL REPEAT SYSTEM AND ITS ERGONOMIC SUPPORT

Malakhova K.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics Minsk, Republic of Belarus

Parkhomenka D.A.- Master of Engineering and Technology, Senior Lecturer at the Department of Engineering Psychology and Ergonomics

Annotation. The article discusses the development of a web application designed for note-taking with a built-in spaced repetition system. The focus is on the ergonomics and usability of the application, allowing users to combine note-taking and spaced repetition flashcards. The application provides an intuitive interface, adaptive design, and extensive functionality for memorizing material.

Keywords: web application, memorization, interval repetition, note-taking, cognitive load.

УДК 004.418

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КАДРОВОЙ СЛУЖБЫ ПРЕДПРИЯТИЯ

Марецкий Н.Д.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Цявловская Н.В. – магистр технических наук, ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. В статье описано веб-приложение, предназначенное для оптимизации работы кадровой службы предприятия. Раскрывается функционал системы, направленный на улучшение документооборота, управления персоналом. Приводятся обоснования выбора технологического стека.

Ключевые слова: автоматизация, веб-приложение, система управления персоналом, Django, FastAPI, PostgreSQL.

Введение. Эффективность работы отдела кадров (HR-департамента) является одним из критически важных факторов успешной деятельности современного предприятия. В настоящее время значительная часть рутинной работы кадровых служб многих организаций по-прежнему базируется на бумажной документации и разрозненных электронных таблицах. Такой подход становится источником систематических ошибок, обусловленных человеческим фактором, приводит к неоправданным затратам рабочего времени сотрудников и создает существенные преграды для стратегического управления персоналом. Отсутствие оперативного доступа к актуальной информации замедляет процесс принятия управленческих решений и снижает гибкость компании в условиях быстро меняющегося рынка. Всё это ведет к снижению оперативности работы и затрудняет проведение своевременного анализа кадровых данных. В связи с этим актуальной задачей является разработка специализированного веб-приложения, которое позволит централизовать хранение данных, автоматизировать ключевые HR-процессы и значительно снизить временные затраты на выполнение рутинных операций.

Основная часть. Деятельность отдела кадров неразрывно связана с обработкой огромного количества документов и персональной информации. Отсутствие структурированной единой системы ведет к высоким временным затратам на выполнение стандартных операций и риску потери актуальности данных [1]. Современные тенденции цифровизации управления персоналом диктуют необходимость внедрения комплексных решений, обеспечивающих не только точный учет, но и глубокую аналитику кадровых процессов [2].

Разрабатываемое веб-приложение строится на основе микросервисной архитектуры, что обеспечивает гибкость, отказоустойчивость и простоту масштабирования системы. Выделение отдельных сервисов позволяет охватить все ключевые аспекты деятельности HR-специалиста:

1 Сервис управления персоналом реализует полный цикл работы с сотрудником: от подбора и первичного тестирования до оформления переводов, увольнений и ведения цифрового личного дела.

2 Сервис электронного документооборота обеспечивает удобную генерацию типовых приказов и договоров с использованием шаблонов, внедряет систему их электронного согласования и гарантирует безопасное хранение документов в защищенном архиве.

3 Сервис учета рабочего времени и отсутствий предоставляет интерактивный календарь отпусков, инструменты для планирования командировок и гибкой фиксации рабочего графика сотрудников.

4 Сервис отчетности и аналитики позволяет руководству и HR-менеджерам отслеживать ключевые показатели эффективности (KPI) через наглядные дашборды, а также формировать детализированные отчеты с помощью встроенного конструктора.

В качестве технологического стека для backend-разработки выбраны Python с

фреймворками Django и FastAPI, что обусловлено их высокой скоростью разработки, богатым функционалом и способностью обрабатывать высокие нагрузки [3]. Frontend-часть приложения создается на современном фреймворке Vue.js, что гарантирует создание эстетичного, интуитивно понятного и динамичного пользовательского интерфейса. Для надежного хранения данных используется СУБД PostgreSQL, которая обеспечивает высокую целостность данных, поддержку сложных запросов и безопасность при работе с конфиденциальной информацией [4].

В процессе разработки особое внимание уделяется вопросам безопасности (разграничение доступа, шифрование данных) и эргономике интерфейса. Ключевая задача – сделать приложение максимально удобным и простым для сотрудников, не обладающих глубокими техническими навыками. Внедрение разработанного веб-приложения позволит перевести документооборот с бумажных носителей в электронный вид, автоматизировать процесс поиска и подбора специалистов, а также минимизировать вероятность ошибочных решений при кадровых назначениях за счет наличия полной и достоверной информации.

Заключение. Разработанное веб-приложение представляет собой современное и эффективное решение для оптимизации работы отдела кадров. Автоматизация рутинных задач, централизованное хранение данных в едином пространстве и предоставление удобных инструментов для аналитики позволяют HR-специалистам быстрее взаимодействовать с информацией, качественно подготавливать отчеты и высвобождать время для решения более стратегических задач по развитию персонала. Использование передовых технологий и микросервисной архитектуры наделяет систему высокой отказоустойчивостью, гибкостью и готовностью к дальнейшему масштабированию по мере роста потребностей предприятия. Таким образом, внедрение данного приложения будет способствовать существенному повышению эффективности, прозрачности и улучшению качества управления человеческими ресурсами в организации.

Список литературы

1. *Армстронг М. Практика управления человеческими ресурсами. – СПб.: Питер, 2020.*
2. *Дейнеко А.В. Цифровая трансформация HR: от автоматизации процессов к интеллектуальному анализу данных // Управление персоналом. – 2022. – №5. – С. 45-52.*
3. *Django Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.djangoproject.com/.*
4. *PostgreSQL Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.postgresql.org/docs/.*

UDC 004.418

A WEB APPLICATION FOR OPTIMIZING THE WORK OF AN ENTERPRISE'S HR DEPARTMENT

Maretsky N.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Tsyavlovskaya N.V – Master of Sci., Senior Lecturer at the Department of EPE

Annotation. This article describes a web application designed to optimize the work of an enterprise's HR department. The system's functionality aimed at improving document flow and personnel management is described. The rationale for the choice of the technology stack is provided.

Keywords: automation, web application, HR management system, Django, FastAPI, PostgreSQL.

УДК 331.108.38–044.332

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ АДАПТАЦИИ ПЕРСОНАЛА В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕНТОРСТВА

Островский Я.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Телеш И.А. – к. г. н., доцент кафедры ИпиЭ

Аннотация. В статье рассматривается веб-приложение для цифровизации процесса адаптации новых сотрудников на производственных предприятиях. Описана микросервисная архитектура системы, модель ролевого управления доступом с тремя ролями пользователей, механизм управления задачами с контролем соблюдения требований охраны труда, а также инструменты обмена знаниями между менторами и стажёрами.

Ключевые слова: адаптация персонала, менторство, веб-приложение, микросервисная архитектура, RBAC, JWT, WebSocket, MongoDB, Docker, PostgreSQL, MinIO.

Введение. Адаптация новых сотрудников – критически важный этап, от которого во многом зависит их дальнейшая производительность и закрепление на предприятии. В производственной среде этот процесс дополнительно осложняется строгими требованиями охраны труда и необходимостью передачи специфических технологических знаний. Существующие подходы, как правило, опираются на бумажные инструкции и неформализованную передачу знаний от опытных сотрудников новичкам, что снижает управляемость и результативность процесса адаптации [1]. Настоящая работа посвящена разработке специализированного веб-приложения, автоматизирующего взаимодействие менторов, стажёров и административного персонала в производственных условиях.

Основная часть. Разрабатываемая система построена на микросервисной архитектуре, что обеспечивает независимое масштабирование компонентов и упрощает их сопровождение [2]. Взаимодействие сервисов осуществляется через API-шлюз, а все компоненты упакованы в Docker-контейнеры и управляются посредством Docker Compose, что позволяет развернуть всю платформу единственной командой.

Управление доступом реализовано на основе модели RBAC (Role-Based Access Control) с тремя ролями: администратор, ментор и стажёр. Аутентификация построена на JWT-токенах, в полезную нагрузку которых включено поле role. Это позволяет фронтенду динамически формировать соответствующий роли интерфейс: администратор управляет пользователями, учебными материалами и настройками платформы, ментор формирует задачи и учебные материалы, стажёр выполняет назначенные ему задания.

Ключевым функциональным модулем является сервис задач, реализующий Kanban-доску со строго заданной последовательностью статусов. Каждая задача проходит фиксированный путь: от очереди выполнения – через активную работу и проверку ментором – до закрытия. Производственная специфика учтена через встроенные чек-листы по охране труда: стажёр вправе приступить к выполнению задания лишь после подтверждения ознакомления со всеми пунктами техники безопасности. Данный механизм снижает риск нарушений требований промышленной безопасности.

Пользовательский интерфейс организован в виде многостраничного веб-приложения с раздельной навигацией для каждой роли. Маршруты и доступные виджеты формируются динамически на основе роли, закреплённой в JWT-токене: каждый пользователь видит только те разделы, к которым у него есть права. Защита маршрутов обеспечивается на уровне клиента посредством проверки токена при загрузке страницы, что исключает несанкционированный доступ к закрытым разделам интерфейса.

Для оперативного взаимодействия менторов и стажёров предусмотрен чат-сервис на основе WebSocket. История переписки сохраняется в MongoDB, что обеспечивает гибкое

хранение документоориентированных данных и эффективный доступ к истории сообщений.

Хранение учебных материалов реализовано с разделением ответственности: объектное хранилище MinIO содержит сами файлы – PDF-документы, изображения и иные вложения, – тогда как PostgreSQL хранит метаданные: наименование, автора загрузки, привязку к курсу или задаче, ссылку на объект в S3-совместимом хранилище. Такой подход позволяет ментору однократно загрузить материал и назначить его нескольким стажёрам без дублирования файлов.

С позиций системного проектирования в приложении реализован ряд инженерных практик: структурированное логирование в формате JSON для последующей агрегации, эндпоинты /health для контроля доступности каждого сервиса через API-шлюз, а также версионирование схемы базы данных посредством Alembic, исключающее ручное изменение структуры таблиц [3]. Совокупность перечисленных решений формирует наблюдаемую и воспроизводимую инфраструктуру.

Для обеспечения корректности бизнес-логики каждый микросервис покрывается модульными тестами. Интеграционное тестирование проверяет взаимодействие сервисов через API-шлюз: корректность маршрутизации запросов, соблюдение ролевых ограничений и целостность данных между PostgreSQL, MongoDB и MinIO. Применение данной стратегии тестирования позволяет выявить регрессии на ранних этапах разработки и поддерживать стабильность системы при итеративном расширении функциональности.

Заключение. Разработанное веб-приложение обеспечивает системный подход к адаптации персонала в производственных условиях. Объединение ролевой модели доступа, структурированного управления задачами с контролем охраны труда, инструментов коммуникации и базы учебных материалов в единую платформу позволяет стандартизировать процесс адаптации и снизить нагрузку на менторов [4]. Применение микросервисной архитектуры и контейнеризации обеспечивает масштабируемость системы и простоту её развёртывания на реальном производственном предприятии.

Список литературы

1. *Кондратенко, Д.С. Обзор современных методов управления адаптацией персонала: особенности применения, преимущества и недостатки / Д.С. Кондратенко, О.А. Тимохина // Вестник науки и образования. – 2023. – № 4. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-sovremennyh-metodov-upravleniya-adaptatsiey-personala-osobennosti-primeneniya-preimuschestva-i-nedostatki (дата обращения: 01.03.2026).*

2. *Бондаренко, А.С. Управление контейнерами при построении распределённых систем с микросервисной архитектурой / А.С. Бондаренко, К.С. Зайцев // Вестник науки и образования. – 2023. – № 6. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-konteynerami-pri-postroenii-raspredelennyh-sistem-s-mikroservisnoy-arhitekturoy (дата обращения: 01.03.2026).*

3. *Ньюман, С. Создание микросервисов / С. Ньюман. – СПб. : Питер, 2022. – 624 с.*

4. *Тимонин, И.И. Особенности использования цифровых технологий в адаптации персонала организации / И.И. Тимонин, И.В. Кохова // Мир науки. Педагогика и психология. – 2024. – Т. 12, № 5. – С. 175–181.*

UDC 331.108.38-044.332

WEB APPLICATION FOR PERSONNEL ONBOARDING IN INDUSTRIAL ENVIRONMENTS USING MENTORSHIP

Astrouski Y.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Telesh I.A. – Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of IPiE

Annotation. The paper presents a web application for digitalizing the onboarding process for new employees at industrial enterprises. The system's microservice architecture is described, along with a three-role access control model, a task management mechanism with occupational safety compliance enforcement, and knowledge-sharing tools between mentors and interns.

Keywords: personnel adaptation, mentorship, web application, microservice architecture, RBAC, JWT, WebSocket, MongoDB, Docker, PostgreSQL, MinIO.

УДК 004.773.6:614.812

РАЗРАБОТКА ТЕЛЕГРАМ-БОТА С ИНСТРУКЦИЕЙ ПО ОКАЗАНИЮ ПЕРВОЙ ПОМОЩИ

Павлюченко Ю.М., Шатило З.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Рышкель О. С. – к. с.-х. н., доцент, доцент кафедры ИПЭ

Аннотация. Представлен проект по внедрению цифрового помощника (Telegram-бота) в систему массовой подготовки населения к действиям в чрезвычайных ситуациях. Основная задача разработки – систематизация информации для упрощения поиска и снижение времени реакции людей при необходимости оказать первую помощь. Бот предоставляет адаптированные, но строго соответствующие доказательной медицине инструкции по первой помощи, что способствует правильному оказанию первой медицинской помощи.

Ключевые слова: первая помощь, доврачебная помощь, алгоритм действий, Telegram-бот, чрезвычайная ситуация

Введение. Одной из проблем современного информационного пространства является переизбыток противоречивых сведений, что затрудняет оперативный поиск необходимой информации, особенно в условиях экстренной ситуации. При оказании первой помощи в чрезвычайных ситуациях временной фактор играет ключевую роль. Для оптимизации поиска информации и систематизации порядка действий оказания первой помощи был разработан телеграм-бот под названием SaveLife.

Основная часть. Интерфейс бота представляет собой иерархическое меню, где каждый пункт соответствует определенной чрезвычайной ситуации, в которой человеку требуется медицинская или экстренная помощь (рисунок 1).

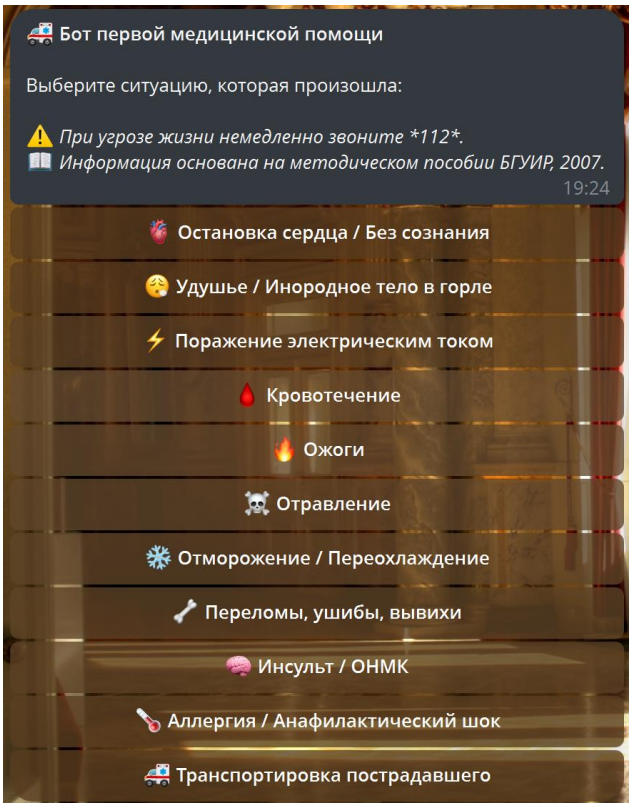


Рисунок 1 – Графический интерфейс бота

В меню представлены наиболее частые или опасные ситуации, в которых важно действовать правильно, чтобы не навредить пострадавшему и себе [1].

За выбором ситуации следует вывод структурированного сообщения, содержащего информацию с четкой последовательностью действий, которые необходимо как можно скорее предпринять. Помимо основного алгоритма действий, в конце инструкции приводятся частные случаи и важные замечания, на которые следует обратить внимание. В качестве примера приведен алгоритм действий при потере сознания (рисунок 2) [2]. Аббревиатура СЛР в тексте означает сердечно-легочную реанимацию. Учитывая, что методика ее проведения зависит от возраста пострадавшего (взрослые или младенцы), бот предлагает дополнительные инструкции, доступные через соответствующие пункты в меню.

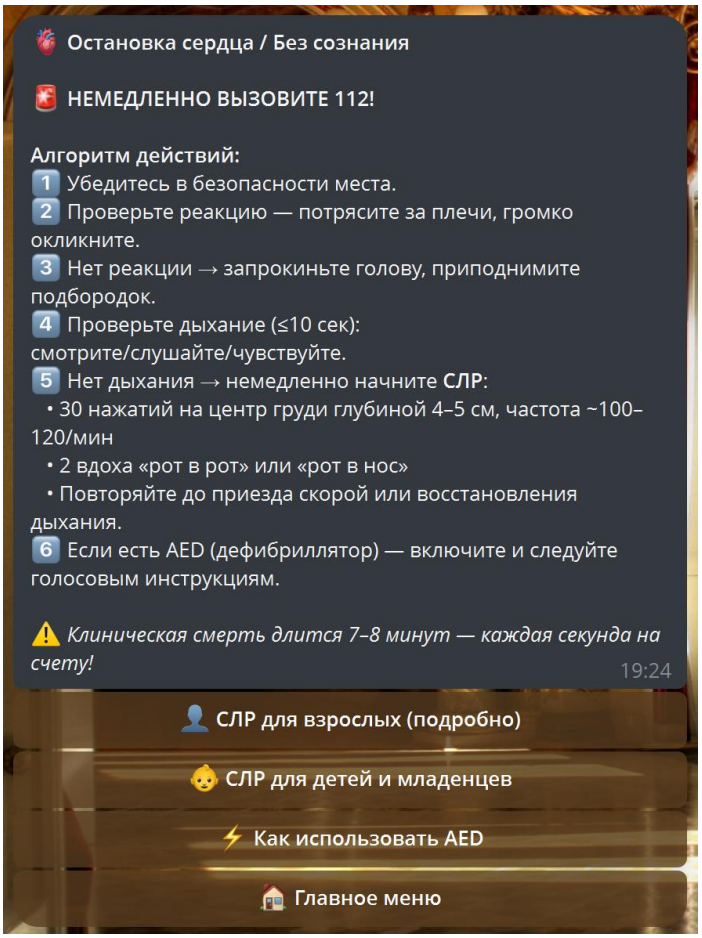


Рисунок 2 – Алгоритм действий оказания первой помощи

Предложенная структура подачи материала позволяет минимизировать время на ознакомление с инструкцией и ускорить реакцию на сложившуюся ситуацию. Лаконичность и визуальная логика изложения способствуют быстрому принятию решений, исключая необходимость анализа теоретических основ в условиях дефицита времени.

Разработанный программный продукт ориентирован на широкий круг пользователей и может быть использован в различных сферах: для индивидуального использования любым человеком, оказавшимся свидетелем или участником происшествия; для образовательного процесса – бот может выступать в роли памятки при индивидуальном обучении, так и для студентов различных специальностей, в том числе медицинских (так как бот основан на достоверных медицинских данных); для профессиональной деятельности – может использоваться как шпаргалка до приезда скорой помощи сотрудниками служб, не имеющих медицинского профиля (пожарные, полицейские, охранники).

Универсальность доступа (через мессенджер на смартфоне) и отсутствие необходимости предварительной установки делают бот «SaveLife» эффективным инструментом массового

информирования.

Выбор платформы Telegram обусловлен её широким распространением среди различных возрастных групп населения, стабильностью работы и возможностью функционирования в условиях ограниченного интернет-соединения. Данная платформа не требует дополнительной установки приложений и позволяет охватить максимально широкую аудиторию без дополнительных финансовых затрат со стороны пользователя.

Тем не менее важно помнить, что перед оказанием первой помощи необходимо убедиться, что человек в ней нуждается, что при оказании помощи вы не навредите себе, а также что окружающая обстановка достаточно безопасная (например, если в момент обнаружения пострадавшего он находится в горящем доме, его необходимо транспортировать в более безопасное место для оказания первой помощи).

Необходимо помнить о своей безопасности. Так, например, если у вас есть открытая рана, также как и у пострадавшего, нужно в первую очередь обезопасить себя, особенно если человек вам не знаком, так как человек может быть носителем заболеваний, передающихся через кровь, даже если это не видно на первый взгляд [3].

Заключение. В ходе работы был разработан и описан функционал Telegram-бота «SaveLife», направленный на информирование населения о правилах оказания первой помощи в чрезвычайных ситуациях. Главным преимуществом разработки является сочетание компактности, структурированности и доказательной базы заложенной информации.

Использование подобных цифровых инструментов позволяет решить проблему информационного хаоса в критический момент и способствует повышению шансов пострадавших на выживание до приезда медицинских работников, повышает осведомленность молодого поколения о правилах и способах оказания первой медицинской помощи. Перспективой дальнейшего развития бота является расширение базы сценариев (добавление помощи при отравлениях, утоплении, электротравмах) и интеграция мультимедийного контента (схемы, короткие видео).

Список литературы

1. *Асаенок И. С. Оказание первой медицинской (доврачебной) помощи в чрезвычайных ситуациях техногенного характера/ И. С. Асаенок, Г. М. Дунаева, Л. А. Корбут, Т. Ф. Михнюк, К. Д. Яшин // УО «БГУИР». – 2007. – с. 5-33.*

2. *Правила оказания первой медицинской помощи [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.bsmp.by/press-tsentr/polezno-znat/pervaya-pomoshch-chto-delat/pravila-okazaniya-pervoj-meditsinskoj-pomoshchi. Дата доступа: 05.03.2026.*

3. *Личная помощь при оказании первой помощи [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://mchs.gov.ru/deyatelnost/bezopasnost-grazhdan/lichnaya-bezopasnost-pri-okazanii-pervoy-pomoshchi_5. Дата доступа 10.03.2026*

UDC 004.773.6:614.812

DEVELOPMENT OF A TELEGRAM BOT WITH FIRST AID INSTRUCTIONS

Yu. M. Pavlyuchenko, Z. A. Shatilo

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

O. S. Ryshkel – Cand. of Sci., Associate Professor, Associate Professor, Associate Professor of the Department of IPE

Annotation. This paper presents a project to integrate a digital assistant (Telegram bot) into a system for mass public preparedness for emergency response. The primary objective of the development is to systematize information to simplify searches and reduce response times when first aid is needed. The bot provides adapted, yet strictly evidence-based, first aid instructions, facilitating the proper delivery of first aid.

Keywords: first aid, pre-hospital care, action plan, Telegram-bot, emergency

УДК 004.4:347

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ЮРИДИЧЕСКИМИ ДЕЛАМИ И ДОКУМЕНТАМИ

Петрожицкая В.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Воробей А.В. – магистр технических наук, ассистент кафедры ИПиЭ

Аннотация. В статье рассматривается разработка веб-приложения для автоматизации управления юридическими делами и документами. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности работы юридических отделов и оптимизации процессов обработки и хранения юридической документации. Описываются основные функциональные возможности системы, а также рассматриваются механизмы уведомлений, аналитики нагрузки сотрудников и архивации дел. Предложенное веб-приложение позволяет централизовать управление юридической информацией, повысить прозрачность рабочих процессов и сократить время обработки юридических документов.

Ключевые слова: веб-приложение, автоматизация юридической деятельности, управление юридическими делами, электронные документы, юридическая информационная система.

Введение. Юриспруденция играет важную роль в функционировании современного общества, обеспечивая регулирование общественных отношений, защиту прав и законных интересов граждан, организаций и государства. Эффективная деятельность юридических служб во многом зависит от своевременной обработки правовой информации, подготовки процессуальных документов и контроля за рассмотрением юридических дел. В процессе работы юридических отделов формируется значительное количество документов, ведется учет дел и осуществляется контроль сроков их рассмотрения, что требует высокой точности и системности в работе [1].

В Республике Беларусь вопросам правовой информатизации уделяется значительное внимание на государственном уровне. В стране функционирует система правовой информации, обеспечивающая доступ граждан и организаций к нормативным правовым актам и другим правовым ресурсам. Однако в практической деятельности юридических отделов организаций по-прежнему сохраняется проблема недостаточной автоматизации внутренних рабочих процессов [2, 3].

Целью данного исследования является разработка веб-приложения для автоматизации управления юридическими делами и документами. Разрабатываемая система позволит сотрудникам юридического отдела регистрировать и систематизировать информацию о делах в единой базе данных, хранить и обрабатывать юридические документы, а также формировать их на основе заранее подготовленных шаблонов. Кроме того, приложение обеспечит распределение задач между сотрудниками, контроль сроков выполнения поручений и отслеживание текущего состояния дел, а также позволит анализировать нагрузку сотрудников и количество выполненных дел.

Основная часть. Для достижения поставленной цели была изучена предметная область управления юридическими делами, проанализированы существующие информационные системы для учета юридической документации, определены их преимущества и недостатки, спроектирована структура базы данных, а также разработано функциональное наполнение веб-приложения и пользовательский интерфейс системы.

Основной задачей системы является централизованное хранение информации о юридических делах, документах и задачах сотрудников, а также обеспечение удобного доступа к данным для всех участников рабочего процесса. Разрабатываемое веб-приложение позволит сотрудникам вносить информацию о юридических делах в общую базу данных, а также управлять связанными документами и задачами. Система обеспечит возможность отслеживания текущего статуса дел, контроля сроков их рассмотрения и анализа нагрузки сотрудников. На рисунке 1 представлена структура системы управления юридическими делами и документами.

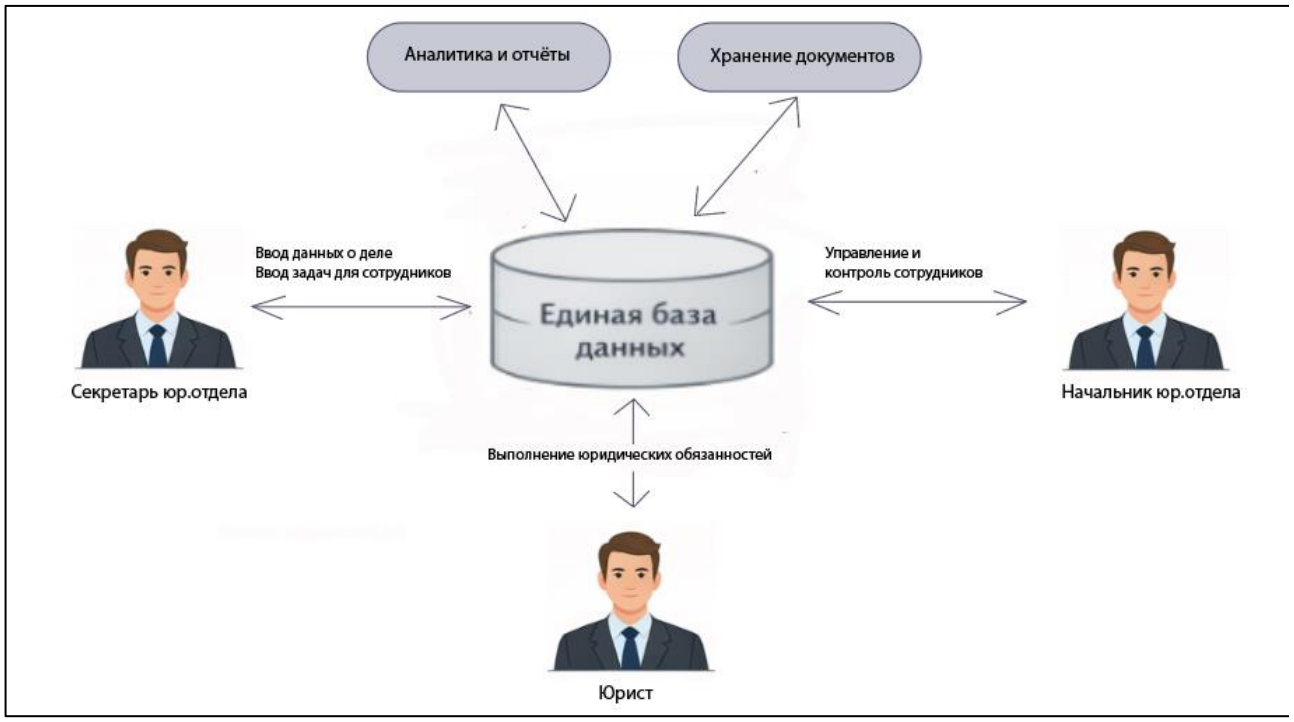


Рисунок 1 – Структура системы управления юридическими делами и документами

В системе предусмотрено несколько ролей пользователей, каждая из которых обладает определенными функциями и правами доступа. Секретарь отвечает за регистрацию новых дел и внесение основной информации, включая наименование дела, категорию, дату регистрации и дату рассмотрения, а также назначение ответственного юриста. Юрист получает доступ к назначенным делам, может добавлять документы, комментарии и изменять статус дела в процессе его рассмотрения. Начальник юридического отдела осуществляет контроль выполнения задач, проверяет завершенные дела и принимает решение об их закрытии или отправке в архив.

Проведено проектирование функциональной структуры информационной системы, в результате чего выделены основные функции приложения:

– регистрация и учет юридических дел;
– распределение дел между сотрудниками юридического отдела;
– хранение и управление юридическими документами;
– создание документов на основе заранее подготовленных шаблонов;
– изменение статусов дел и контроль сроков их рассмотрения;
– создание и управление задачами и поручениями для сотрудников;
– просмотр информации о сотрудниках юридического отдела;
– анализ нагрузки сотрудников и количества выполненных дел.

Каждое юридическое дело в системе представлено в виде отдельной записи в базе данных и имеет собственную страницу с подробной информацией. На странице дела отображаются основные сведения, прикрепленные документы, комментарии юриста и история изменений статусов. При добавлении информации система автоматически фиксирует пользователя, дату и время внесения данных.

Разработанная система предоставляет пользователям единое рабочее пространство для взаимодействия с юридическими делами и документами. С ее помощью сотрудники могут оперативно получать доступ к информации по делам, добавлять необходимые материалы и отслеживать изменения статусов. Централизованное хранение данных упрощает поиск информации и обеспечивает более организованную работу юридического отдела, а также способствует повышению контроля над выполнением задач и сроками рассмотрения дел. На рисунке 2 представлено рабочее окно веб-приложения.

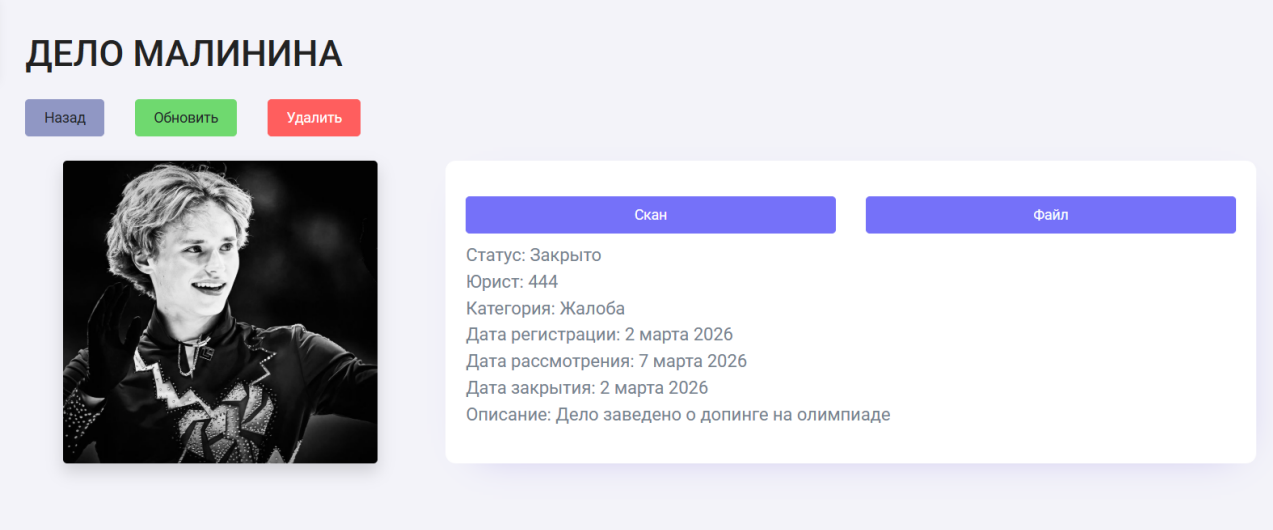


Рисунок 2 – Окно веб-приложения

На данной странице отображается конкретное дело и данные о нем. Также присутствуют кнопки «скан» и «файл», содержащее дополнительные документы о деле. При нажатии данных кнопок файлы скачиваются на устройство.

На рисунке 3 представлено окно «личные дела юриста». Данное окно выполнено в стиле заметок-календаря, где расписаны все назначенные дела, их статус и даты рассмотрения.

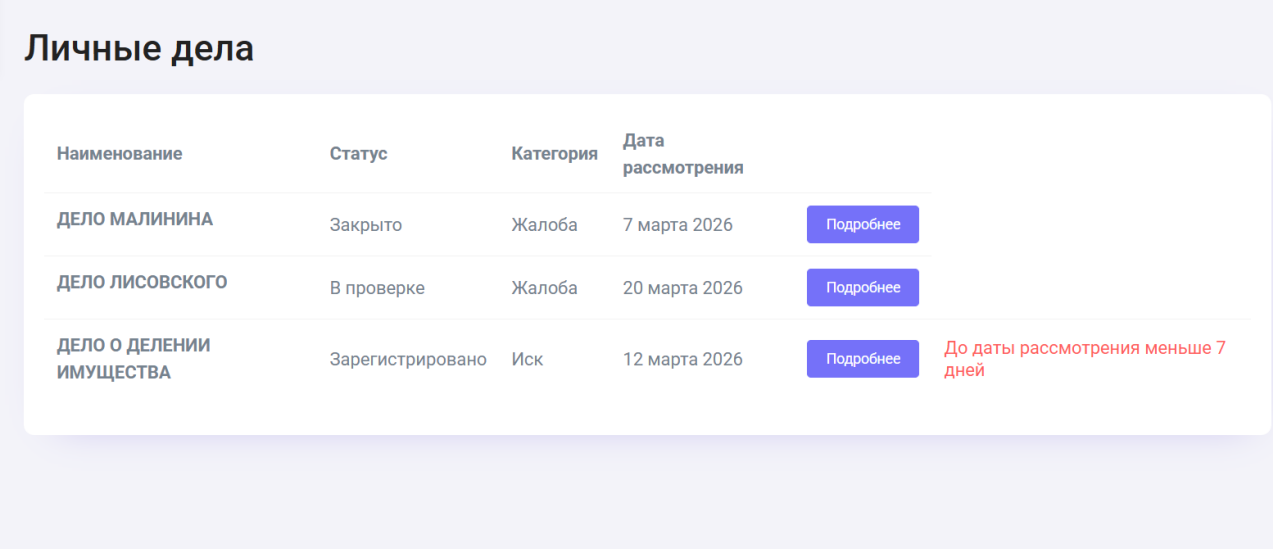


Рисунок 3 –Окно «личные дела юриста»

Также присутствует уведомление сколько дней осталось до даты рассмотрения, что позволяет сотруднику вовремя выполнить работу. На рисунке 4 представлена аналитика по работе сотрудников, статусы дел и т.д.

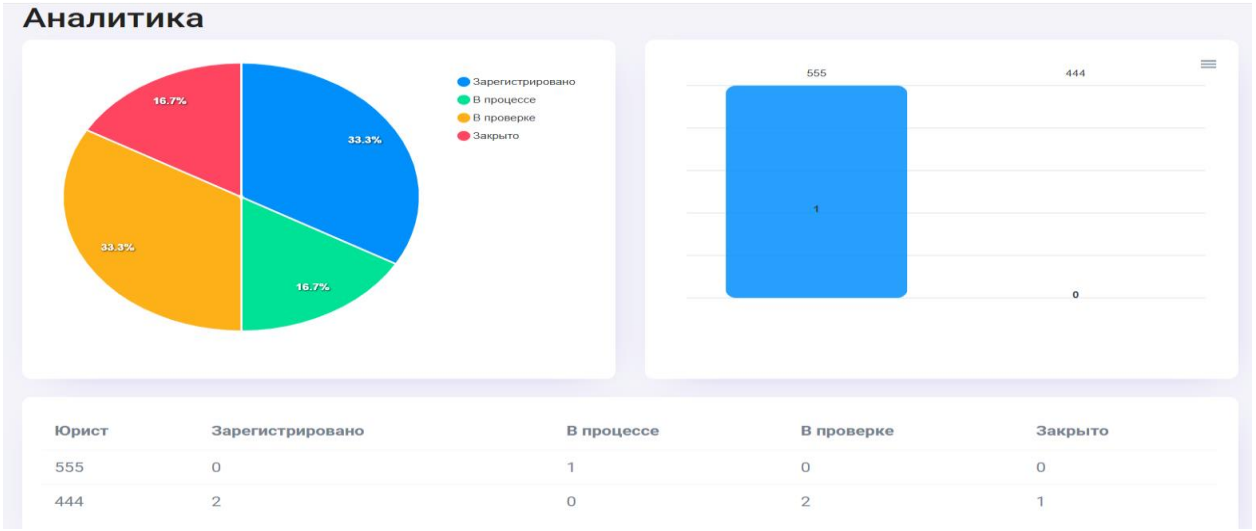


Рисунок 4 – Аналитика работы сотрудников

Заключение. Представленная структура и функциональные возможности разработанного веб-приложения позволяют автоматизировать процессы управления юридическими делами и документами. Использование системы обеспечивает централизованное хранение информации, упрощает работу с юридическими документами и позволяет контролировать ход выполнения задач сотрудниками юридического отдела.

В условиях развития информационных технологий дальнейшее развитие и совершенствование подобных систем является важным направлением цифровизации юридической деятельности, позволяя повысить эффективность работы специалистов и улучшить организацию обработки правовой информации.

Список литературы

1. *Министерство юстиции Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://minjust.gov.by– Дата доступа: 06.03.2026.*

2. *Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://pravo.by– Дата доступа: 06.03.2026.*

3. *Верховный суд Республики Беларусь. Статистика дел [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://court.gov.by/ru/justice_rb/statistics/– Дата доступа: 03.03.2026.*

A WEB APPLICATION FOR AUTOMATING THE MANAGEMENT OF LEGAL CASES AND DOCUMENTS

Petrozhitskaya V.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Vorobey A.V. – master of technical sciences, assistant of the department of EPE

Annotation. The article discusses the development of a web application for automating the management of legal cases and documents. The relevance of the research is due to the need to increase the efficiency of legal departments and optimize the processes of processing and storing legal documentation. The basic functionality of the system is described, as well as notification mechanisms, employee workload analytics, and case archiving. The proposed web application allows you to centralize the management of legal information, increase the transparency of business processes and reduce the processing time of legal documents.

Keywords: web application, automation of legal activity, legal case management, electronic documents, legal information system.

УДК 004.774:630*18

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДУБРАВ

Шаболда П.А., Воробей Е.И.

Белорусский Государственный Университет Информатики и Радиоэлектроники, г.Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Цявловская Н.В. – магистр технических наук, ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. Разработано веб-приложение для автоматизации трёхлетнего мониторинга экологического состояния трёх дубрав (общей площадью ≈6 га) на северо-западе г. Бобруйска. Система реализует функционал внесения данных геоботанического описания древостоя, кустарникового и травяного ярусов, автоматический расчёт коэффициентов состояния, визуализацию динамики показателей по годам и площадкам. Приложение позволяет отслеживать изменения видового и количественного состава дубрав, анализировать деградацию древостоя и формировать отчёты о состоянии насаждений. Внедрение цифрового инструмента повысило эффективность сбора данных мониторинга и обеспечило наглядное представление результатов исследований. Система может использоваться для долговременного экологического мониторинга лесных экосистем в условиях умеренной антропогенной нагрузки.

Ключевые слова: веб-приложение, цифровизация мониторинга, экологическое состояние, дубравы, геоботаническое описание, визуализация данных.

Введение. В Бобруйском районе дубовые рощи занимают небольшие площади и подвергаются сильному антропогенному воздействию. Дубравы испытывают деградацию, проявляющуюся в ухудшении состояния древостоя и отсутствии естественного возобновления. Традиционные методы экологического мониторинга лесных экосистем связаны с ручным сбором данных, бумажной документацией и трудоёмкой обработкой результатов. В условиях необходимости многолетних наблюдений за состоянием дубрав г. Бобруйска возникла потребность в цифровизации процесса мониторинга для повышения точности, оперативности и удобства анализа данных [1].

Цель работы – разработка веб-приложения для автоматизированного учёта и анализа данных мониторинга экологического состояния дубрав путём геоботанического описания [2]. Объект исследования – три дубовые рощи естественного происхождения (по 2 га каждая) на северо-западе г. Бобруйска, мониторинг которых проводился на трёх постоянных пробных площадках размером 25*25 м на протяжении 3 лет.

Основная часть. Архитектура приложения построена по принципу клиент-серверного взаимодействия. База данных хранит информацию о пробных площадках, данные геоботанических описаний по годам, результаты измерений древостоя и характеристики травяно-кустарникового яруса.

Функциональные возможности системы включают:

– регистрация данных о древостое (вид, диаметр, высота, возраст по формуле В = 1,6*Д + 44, категория состояния по пятибалльной шкале);

– внесение данных о кустарниковом ярусе (виды, густота в баллах) и травяном ярусе (видовой состав, проективное покрытие);

– автоматический расчёт коэффициента состояния древостоя по формуле: К = Σ(балл * кол-во деревьев) / N [3];

– формирование сравнительных таблиц динамики показателей по годам и площадкам;

– визуализация данных в виде графиков и диаграмм для анализа трендов;

– автоматическое определение формулы состава древостоя глазомерным методом.

Интерфейс приложения (рисунок 1) представляет панель управления с ключевыми метриками: общая площадь мониторинга, количество исследуемых площадок, число видов в травяном ярусе. Динамика изменения количества деревьев по категориям возраста отображается в виде гистограмм, что позволяет оценить процессы естественного

возобновления и искусственного лесовосстановления [3].

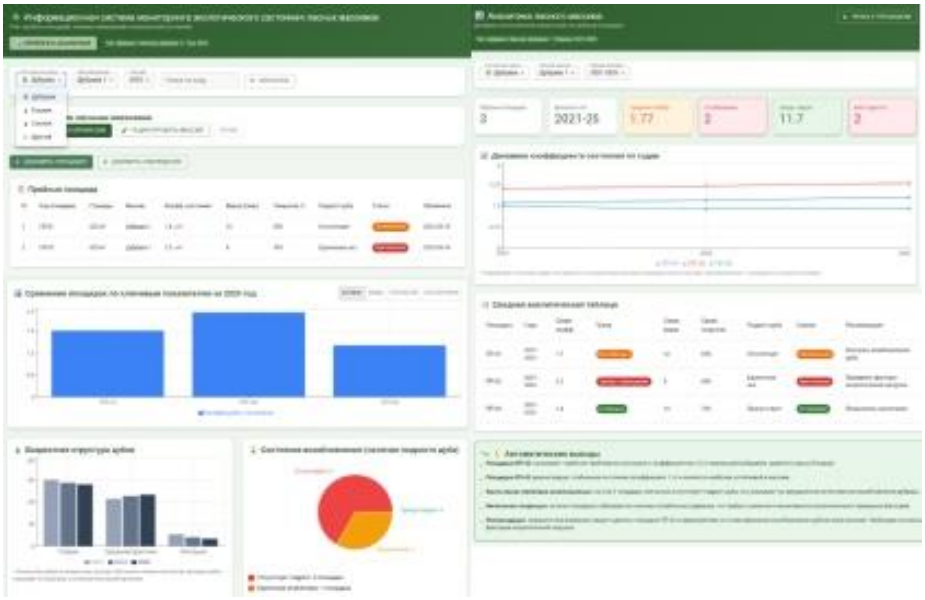


Рисунок 1 – Интерфейс веб-приложения для мониторинга дубрав

Табличный раздел приложения содержит детализированную информацию о состоянии деревьев на каждой площадке с возможностью фильтрации по годам, видам и категориям состояния. Реализована цветовая индикация критических значений (ослабленные и сильно ослабленные деревья выделяются оранжевым и красным цветом соответственно). Система фиксирует деревья с усыханием вершин и другими признаками угнетения.

Результаты мониторинга отображены в таблице 1:

Таблица 1 – Результаты мониторинга

Показатель	Площадка 1	Площадка 2	Площадка 3
Коэффициент состояния (2023)	1,5	1,9	1,4
Коэффициент состояния (2025)	1,1	1,6	1,3
Изменение количества старых дубов	-2	-3	-1

Аналитический модуль приложения выявил ключевые тенденции: стабильность видового состава древостоя, незначительное сокращение средневозрастных дубов, увеличение молодых дубов за счёт искусственной посадки (с 3–4 до 8–10 шт. на площадку) [4]. Система зафиксировала отсутствие естественного возобновления дуба (в подросте преобладают берёза и липа), что подтверждает процессы деградации дубрав. Проективное покрытие травяного яруса составило 60–100 % на всех площадках. Кустарниковый ярус представлен лещиной, бересклетом и малиной с густотой 2–3 балла.

Причины деградации, выявленные системой мониторинга: биологические особенности дуба (требовательность к свету и почве, подверженность болезням), прошлая нерациональная эксплуатация и современное антропогенное воздействие (рекреация, близость дорог) [5].

Преимущества цифровизации мониторинга:

1 Сокращение времени обработки данных с нескольких дней до нескольких минут.

2 Минимизация ошибок при расчётах коэффициентов и составлении формул древостоя.

3 Возможность оперативного сравнения данных за разные годы.

4 Наглядная визуализация динамики для принятия природоохранных решений.

5 Формирование автоматизированных отчётов для природоохранных служб.

Заключение. Разработанное веб-приложение успешно применено для трехлетнего мониторинга дубрав г. Бобруйска. Система обеспечила автоматизированный учёт более 200

деревьев на трёх пробных площадках, расчёт коэффициентов состояния и визуализацию динамики показателей. Цифровой инструмент повысил качество и оперативность экологического мониторинга, позволил выявить признаки деградации древостоя (коэффициент 1,1–1,6 соответствует здоровому и ослабленному состоянию) и отсутствие естественного возобновления дуба [6].

Для сохранения дубрав на основе данных приложения рекомендуется: продолжить ежегодный мониторинг на постоянных площадках с использованием системы; проводить искусственное лесовосстановление; ограничить рекреационную нагрузку в критических зонах.

Приложение рекомендуется для внедрения в практику лесохозяйственных и природоохранных организаций. Планируется расширение функционала системы: добавление модуля прогнозирования состояния древостоя, интеграция с ГИС-системами для пространственного анализа, разработка мобильной версии для полевого сбора данных.

Полученные результаты подтверждают перспективность цифровизации экологического мониторинга лесных экосистем и могут использоваться в изучении биологии, экологии и природоохранной деятельности. Проект демонстрирует необходимость постоянного экологического мониторинга дубовых насаждений в условиях умеренной антропогенной нагрузки с применением современных цифровых инструментов.

Список литературы

1. *Gubanov I.A. et al. Identification Guide to Higher Plants of Central Russia. – Moscow: Prosveshcheniye, 1981.*
2. *Icher T.P. Rustle, Rustle, Green Forest. – Tula: Grif i K Publishers, 2008.*
3. *Kozhevnikov A.V. Through Tundras, Forests, Steppes, and Deserts. – Moscow: Prosveshcheniye, 1975.*
4. *Leshnikova N.V. Bioecological Research by School Students // Biology at School. – 2001. – № 1.*
5. *Milenkova M.N. Acorns Wanted // Biology. Pervoe Sentyabrya. – 2009. – № 2.*
6. *Petrov V.V. The Plant World of Our Motherland. – Moscow: Prosveshcheniye, 1991.*

UDC 004.774:630*18

WEB APPLICATION FOR MONITORING THE ECOLOGICAL STATE OF OAK FORESTS

Shabolda P.A., Vorobey E.I.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Tsyavlovskaya N.V. - Senior Lecturer of the Department of Engineering Psychology and Ergonomics

Annotation. A web application has been developed to automate a three-year monitoring of the ecological state of three oak forests (total area ≈6 hectares) in the north-west of Bobruisk. The system implements functionality for entering data from geobotanical descriptions of the tree stand, shrub, and herb layers, automatic calculation of condition coefficients, and visualization of indicator dynamics by year and site. The application allows tracking changes in the species and quantitative composition of oak forests, analyzing tree stand degradation, and generating reports on the state of plantations. The implementation of this digital tool has increased the efficiency of monitoring data collection and provided a clear representation of research results. The system can be used for long-term ecological monitoring of forest ecosystems under moderate anthropogenic impact.

Keywords: web application, monitoring digitalization, ecological state, oak forests, geobotanical description, data visualization.

УДК 004.356.2:005.591.6

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ВЫГОДЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Шаболда П.А.

Белорусский Государственный Университет Информатики и Радиоэлектроники, г.Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Цявловская Н.В. – магистр технических наук, ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. В статье представлено комплексное исследование применения технологий 3D-печати для изготовления функциональных разметочных инструментов, предназначенных для использования в школьных мастерских на уроках трудового обучения. Работа включает детальный анализ функциональных характеристик напечатанных изделий, подробное экономическое обоснование с расчётами себестоимости, прибыли и срока окупаемости оборудования, а также масштабную оценку экологического эффекта. Полученные результаты убедительно демонстрируют, что аддитивные технологии позволяют существенно снизить финансовые затраты на закупку оборудования для лабораторий, мастерских в образовательных учреждениях, сократить потребление исчерпаемых природных ресурсов, минимизировать отходы промышленного производства и одновременно формировать у учащихся навыки работы с современными технологиями и экологически ответственное мировоззрение и грамотность.

Ключевые слова. 3D-печать, аддитивные технологии, функциональные инструменты, экономическая эффективность, экологическая устойчивость, PLA-филамент, устойчивое развитие.

Введение. Аддитивные технологии становятся всё более доступными для учреждений общего среднего образования. Возможность быстро и недорого изготавливать функциональные инструменты открывает новые перспективы для повышения качества трудового обучения, снижения затрат и формирования экологически ответственного мышления у учащихся.

Цель исследования – оценить экономическую и экологическую целесообразность изготовления разметочных инструментов методом 3D-печати по сравнению с традиционными классическими аналогами [1].

Основная часть. Для анализа были рассмотрены пять видов рабочих инструментов из перечня обязательного оснащения лабораторий по трудовому обучению. Анализируя доступность, стоимость и сложность изготовления такого раздаточного традиционным способом наиболее перспективными для исследования представляется именно рейсмус и разметочный циркуль. Эти инструменты постоянно требуются на уроках труда в 5–9 классах, однако в большинстве школьных мастерских их обеспеченность недостаточна - (3–5 экземпляров вместо необходимых 10–12 на группу) [2]. Традиционно такие инструменты изготавливаются из древесины твёрдых пород, что связано с использованием ценных ресурсов леса, образованием значительного количества отходов при обработке материалов и необходимостью выполнения точных токарных или ручных операций при изготовлении. При этом рейсмус и циркуль имеют компактные размеры и небольшую массу, что делает их идеальными объектами для демонстрации возможностей *FDM*-печати.

Моделирование выполнялось в программе *КОМПАС-3D v21*, которая широко используется в белорусских школах и входит в программу факультативов по черчению и информатике. При проектировании основное внимание уделялось минимизации расхода материала без потери необходимой жёсткости. Толщина внешних стенок была установлена в диапазоне 1,2–1,6 мм, что соответствует 5–8 периметрам при сопле 0,4 мм. Внутреннее заполнение задавалось на уровне 20 % с использованием паттерна *gyroid*, обеспечивающего равномерное распределение нагрузки. Высота слоя была выбрана равной 0,2 мм как оптимальный компромисс между качеством поверхности и скоростью печати. При моделировании учитывалась усадка материала *PLA*, составляющая примерно 0,4 %, поэтому диаметры всех отверстий под метизы были увеличены на 0,4–0,6 мм. Сборка инструментов производилась исключительно на стандартных метизах *M4* и *M5* без необходимости печати

резьбовых соединений.

Рейсмус состоит из четырёх основных деталей: корпуса, штока, фиксатора иглы и направляющей колодки. Разметочный циркуль включает три детали: две дуги и центральную ножку. После применения мер по облегчению конструкции реальная масса готовых деталей, определённая взвешиванием, снизилась до 92 г для рейсмуса и 48 г для циркуля [3].

Печать осуществлялась на *FDM*-принтере *Ender* с соплом 0,4 мм. В слайсере *Cura* устанавливались следующие параметры: температура сопла 200–210 °C, температура стола 55–60 °C, скорость печати 50–55 мм/с, поддержка только в необходимых местах с углом отрыва 50°. Фактическое время печати всех деталей циркуля составило 2 часа 28 минут, а всех деталей рейсмуса – 4 часа 39 минут. Общее время на изготовление одного инструмента, достигло примерно 2 часов 50 минут для циркуля и 5 часов 10 минут для рейсмуса (рисунок 1).



Рисунок 1 – Готовые изделия

Испытания функциональности проводились в реальных условиях урока трудового обучения в ГУО «Гимназия №1 г. Бобруйска» в январе 2026 года. Разметочный циркуль прошёл 120 циклов вычерчивания окружностей диаметром от 40 до 320 мм на фанере толщиной 4–10 мм, ДСП и оргстекле. Точность разметки составила ±0,5 мм, игла не смещалась в процессе работы, а пластиковые детали не испытывали деформации. Рейсмус был протестирован в 180 циклах нанесения параллельных линий на расстоянии 4–160 мм от кромки досок толщиной 12–38 мм. Линии получались ровными, глубина оставалась постоянной, а игла надёжно фиксировалась в заданном положении. После 50 часов активного использования, видимого износа пластиковых деталей не наблюдалось.

Экономическая эффективность рассчитывалась с учётом актуальных цен января 2026 года, реальной массы изделий, затрат на непечатный материал, стоимости электроэнергии для бюджетных организаций и средней зарплаты по стране. В результате себестоимость одного рейсмуса – 7,22 руб., а одного циркуля – 5,71 руб. При реализации напечатанных инструментов школам по консервативной цене 50 % от розницы прибыль на единицу достигает 22,68 руб. для рейсмуса и 5,71 руб. для циркуля.

При 40-часовой рабочей неделе принтер способен производить 34 рейсмуса или 64 циркуля в месяц. При специализации на рейсмусах месячная прибыль составляет около 771 руб., что обеспечивает окупаемость принтера стоимостью 780 руб. за 1,1 месяца. При специализации на циркулях прибыль достигает 366 руб. в месяц, при смешанном производстве средняя месячная прибыль составляет примерно 512 руб. Для полной комплектации одной мастерской (15 рейсмусов + 15 циркулей) требуется 108 часов печати, что соответствует примерно 13,5 рабочим дням при восьмичасовом рабочем дне [4].

Экологический эффект оценивался с использованием данных Белстата за 2025/2026 учебный год. При средней наполняемости группы трудового обучения 22,5 человека общее количество групп достигает 11 667. Нормативное количество рейсмусов на группу – 11 штук, что даёт общую потребность около 128 337 штук. Один традиционный деревянный рейсмус требует примерно 220 г древесины с учётом отходов, что соответствует объёму около 0,000314 м³ при плотности древесины 700 кг/м³. Общий объём сберегаемой древесины достигает 40,8 м³. Средний выход деловой древесины с одного зрелого дерева после распиловки и сушки составляет 0,35–0,40 м³. Таким образом, при первичном оснащении всех мастерских страны

удаётся сберечь 102–117 зрелых деревьев. С учётом среднего срока службы деревянного инструмента 5–7 лет за 12 лет потребуется два комплекта, что увеличивает экономию до 204–234 деревьев, эквивалентно примерно 1,1–1,4 гектара молодого леса при плотности посадки 1700 деревьев на гектар.

Использование PLA-филамента обеспечивает дополнительные экологические преимущества. Материал полностью биоразлагаем в промышленных компостных условиях за 3–6 месяцев, производится из возобновляемого сырья, а отходы печати (поддержки) составляют менее 3–5 % от общей массы. Производство локальное и осуществляется по требованию, что исключает перепроизводство, складские потери и дальние перевозки.

Заключение. 3D-печать функциональных инструментов для школьных мастерских демонстрирует экономическую эффективность и значимый экологический эффект. Себестоимость изделий в 4–8 раз ниже рыночной цены, оборудование окупается за 1–2 месяца, а замена деревянных аналогов позволяет сберечь десятки кубометров древесины. Внедрение таких технологий укрепляет материально-техническую базу мастерских, сокращает бюджетные расходы, развивает у учащихся цифровые и инженерные компетенции.

Список литературы

1. *Gaysina, S.V. Robotics, 3D Modeling, and Prototyping: Implementation of Modern Trends in Supplementary Education: Methodological Recommendations for Educators / S.V. Gaysina, I.V. Knyazeva, E.Yu. Oganovskaya. – Saint Petersburg: KARO, 2017 – 208 p.*

2. *Grits, M.A. The Potential of 3D Technologies in Education / M.A. Grits, A.V. Degtyareva, D.A. Chebotareva // Current Problems of Aviation and Cosmonautics. – 2015. – Vol. 2. – No. 11. – pp. 925–927. [Electronic resource] – Access mode: https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnosti-3d-tehnologiy-v-obrazovanii – Access date: 03/13/2022.*

3. *Larchenko, A.P. Fundamentals of 3D Modeling: Curriculum for Optional Classes for Grades VIII-XI of General Secondary Education Institutions / A.P. Larchenko // National Educational Portal [Electronic resource] – Access mode: https://docviewer.yandex.by – Access date: 03/10/2022.*

4. *Lipnitsky, L.A. The Use of 3D Printing Technology in the Development of Students' Innovative Thinking / L.A. Lipnitsky // Belarusian National Technical University [Electronic resource] – Access mode: http://www.bntu.by/news/67-conference-mido/4894-----3d------.html – Access date: 03/08/2022.*

UDC 004.356.2:005.591.6

MONITORING OF THE ECOLOGICAL CONDITION OF OAK GROVES IN THE MICRODISTRICT OF BOBRUISK THROUGH GEOBOTANICAL DESCRIPTION

Shabolda P.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Tsyavlovskaya N.V. - Senior Lecturer of the Department of Engineering Psychology and Ergonomics

Annotation. The article presents a comprehensive study on the application of 3D printing technologies for manufacturing functional marking tools (a thickness gauge and a marking compass) intended for use in school workshops during labor training classes. The work includes a detailed analysis of the functional characteristics of the printed products, a thorough economic justification with calculations of production costs, profit, and equipment payback period, as well as a large-scale assessment of the environmental effect across the entire system of general secondary education in the Republic of Belarus. The obtained results convincingly demonstrate that additive technologies can significantly reduce the financial costs of educational institutions, decrease the consumption of natural resources (primarily wood), minimize production waste, and simultaneously equip students with skills in working with modern digital technologies and foster an environmentally responsible worldview.

Keywords. 3D printing, additive technologies, functional tools, economic efficiency, environmental sustainability, PLA filament, sustainable development.

УДК 62-049.32

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ЗА СЧЕТ ЦИФРОВИЗАЦИИ КАНАЛОВ СВЯЗИ МЕЖДУ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ И РЕМОНТНЫМ ПЕРСОНАЛОМ

Шепелевский Я.Е.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Клюев А.П. – ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. Рассмотрена проблема низкой эффективности управления ТОиР оборудования из-за использования бумажных и неструктурированных каналов связи. Проанализированы существующие решения (ERP, CMMS/EAM), выявлены их недостатки: высокая стоимость, сложность внедрения, избыточность функционала, а для зарубежных продуктов – санкционные риски и зависимость от внешней ИТ-инфраструктуры [1]. Предложена архитектура собственной информационной системы с мобильным приложением для работников и веб-интерфейсом для ремонтной службы, функционирующая в локальной сети предприятия, что обеспечивает автономность, безопасность и ускорение реакции на неисправности.

Ключевые слова: техническое обслуживание и ремонт, информационная система, автоматизация, мобильное приложение, локальная сеть, простои оборудования.

Введение. Эффективность работы оборудования напрямую влияет на себестоимость продукции и конкурентоспособность предприятия, при этом простои из-за поломок и нерационального планирования ремонтов являются одной из главных статей потерь. Неэффективный ТОиР может увеличивать затраты на 5–10%, а его цифровизация позволяет сократить внеплановые простои на 20–50% за счет прогнозирования отказов и оптимизации графиков ремонтов [2]. Однако на многих предприятиях, особенно среднего звена, процесс передачи информации о неисправностях остается неавтоматизированным, что делает разработку доступных систем ТОиР крайне актуальной.

Основная часть. Основная проблема – отсутствие оперативного цифрового канала между персоналом и ремонтной службой. Работники используют устные сообщения, бумажные заявки или мессенджеры, что ведет к задержкам реакции и росту простоев оборудования [3], потерям и искажениям информации, отсутствию базы для анализа отказов и планирования ремонтов [4], а также невозможности контроля загрузки службы и затрат.

На рынке представлены различные классы решений для автоматизации ТОиР, но их применение затруднено. Тяжелые ERP-системы с модулями ТОиР (SAP PM, Oracle EAM) успешно внедрялись на крупных предприятиях, включая Белорусский автозавод [3], однако для средних предприятий они избыточны, дороги и создают санкционные риски из-за зависимости от западных вендоров [1]. Специализированные CMMS и EAM-системы («1С:ТОИР», Naumen Service Desk) имеют примеры внедрения в Dodo Pizza [5] и «ПетроВелт» [1], но требуют значительной настройки как коробочные продукты, что увеличивает бюджет и сложность освоения. Зарубежные решения (IBM Maximo, SAP WorkManager) также уязвимы: опыт Segezha Group показал прекращение поддержки SAP WorkManager из-за санкций, что вынудило к собственной разработке, сэкономившей более 14 млн рублей России [4]. Ключевой недостаток – зависимость от поставщика и невозможность оперативно влиять на функционал. Большинство решений требуют постоянного подключения к интернету, что неприемлемо для предприятий с жесткой политикой безопасности или в удаленных цехах.

Предлагаемая информационная система построена на современном технологическом стеке, решающем проблему коммуникации. Система включает нативное iOS-приложение на Swift (интеграция с камерой, локальное хранилище CoreData/Realm для офлайн-режима), сервер на Java Spring (Spring Security с JWT, Hibernate, PostgreSQL) и веб-интерфейс для ремонтной службы. Сервер разворачивается на ПК в локальной сети, обеспечивая полную

автономность и безопасность: данные не покидают периметр предприятия, отсутствует зависимость от интернета и облачных сервисов. Надежность и отказоустойчивость достигаются за счет Java Spring и PostgreSQL с поддержкой транзакций. Удобство для пользователей обеспечивается интуитивным интерфейсом iOS-приложения, доступом к веб-интерфейсу с любого устройства в локальной сети без установки ПО и возможностью работы в офлайн-режиме. Архитектура на Spring обеспечивает масштабируемость (push-уведомления, интеграция с учетными системами), а развертывание на существующем оборудовании исключает затраты на подписки и аренду серверов. Таким образом, предложенное решение создает защищенную, надежную и экономически эффективную среду для управления ремонтами, недоступную при использовании коробочных продуктов или облачных сервисов.

Заключение. Проблема неэффективной коммуникации при поломках оборудования ведет к финансовым потерям из-за простоев. Существующие системы ТОиР либо сложны и дороги для средних предприятий, либо зависят от внешней IT-инфраструктуры и зарубежных вендоров [1, 4]. Разрабатываемая информационная система предлагает целевое решение, обеспечивающее сокращение времени реакции на неисправности, повышение прозрачности процессов, информационную безопасность и автономность работы, а также создание базы для аналитики отказов и оптимизации ремонтов. Таким образом, предложенное решение автоматизирует процесс и создает основу для повышения эффективности производства за счет надежной цифровой связи между его ключевыми звеньями.

Список литературы

1. *TOuP (Техническое обслуживание и ремонт) [Электронный ресурс]. Режим доступа:* https://www.cnews.ru/reviews/ii_v_promyshlennosti_2023/articles/kak_avtomatizatsiya_toir_pomogaet_zavodam. *Дата доступа: 03.03.2026.*

2. *Эффективность ТОиР: как цифровизация снижает затраты [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://icsholding.ru/company/blog/effektivnost-toir-kak-tsifrovizatsiya-snizhaet-zatraty/. Дата доступа: 03.03.2026.*

3. *Как автоматизация ТОиР помогает заводам не простаивать [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.cnews.ru/reviews/ii_v_promyshlennosti_2023/articles/kak_avtomatizatsiya_toir_pomogaet_zavodam. Дата доступа: 03.03.2026.*

4. *Официальный пресс-релиз: Segezha Group создала собственный «Мобильный ТОиР» – обзор и области применений [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://segezha-group.com/ru/pressroom/news/importozameshchenie-it-segezha-group-sozdala-sobstvennyy-mobilnyy-toir/. Дата доступа: 03.03.2026.*

5. *Кейс: Автоматизация обслуживания оборудования Dodo Pizza [Электронный ресурс]. Режим доступа:* https://www.naumen.ru/projects/dodo-pizza/ *. Дата доступа: 03.03.2026.*

UDC 62-049.32

IMPROVING THE EFFICIENCY OF TECHNICAL SERVICE AND REPAIRS THROUGH DIGITALIZATION OF COMMUNICATION CHANNELS BETWEEN PRODUCTION AND REPAIRS PERSONNEL

Shepelevsky Y.E.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Kluev A.P. – senior lecturer of the department of EPE

Annotation The problem of low efficiency and efficiency of equipment maintenance and repair (MRO) management in industrial enterprises due to the use of outdated «paper» or unstructured digital communication channels is considered. The existing classes of solutions on the market (ERP systems, specialized CMMS/EAM platforms) have been analyzed, and their key disadvantages have been identified: high cost, complexity of implementation, redundancy of functionality for operational dispatch tasks, and additional risks associated with sanctions policy and dependence on external IT infrastructure for foreign products [1]. Proposed architecture of its own information system, including a mobile application for shop floor workers and a web interface for the repair service, functioning in the enterprise local network. It is substantiated that such a solution allows to ensure full autonomy, information security and significantly speed up the response to malfunctions.

Keywords: maintenance and repair, information system, automation, mobile application, local network, equipment downtime.

УДК 004.4:378.147

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ И РАЗВИТИЯ НАВЫКОВ В СФЕРЕ IT

Старовойтов П.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Николаев А.Ю. – ассистент кафедры ИПиЭ

Аннотация. Данная работа направлена на решение задачи развития ИТ-навыков специалистов с помощью веб-инструмента планирования карьеры. Система проводит первичное тестирование, анализирует результаты и автоматически формирует индивидуальную траекторию профессионального развития. Она выявляет пробелы в знаниях, корректирует учебный план и предлагает подходящие ресурсы для дальнейшего обучения.

Ключевые слова: веб-приложение, управление карьерой, roadmap, адаптивное обучение, тестирование знаний

Введение. Сфера IT отличается высокой конкуренцией и постоянно меняющимися требованиями к специалистам. Профессионалы, развивающиеся в направлениях Machine Learning, DevOps или Backend, часто сталкиваются с отсутствием чётко структурированного пути обучения. Большинство платформ предлагают лишь учебные материалы, но не формируют персональный план развития с учётом текущего уровня знаний. В результате пользователи либо тратят время на повторение уже изученного, либо упускают важные фундаментальные темы. Актуальность работы связана с необходимостью создания системы, которая определяет текущий уровень знаний пользователя, выявляет пробелы в компетенциях и перестраивает курс на основе результатов повторного тестирования [5].

Цель проекта – разработка веб-системы управления карьерным развитием в сфере IT с адаптивной «дорожной картой» и удобным пользовательским интерфейсом.

Основная часть. Система предназначена для развития карьеры и повышения IT-навыков. Она предлагает готовые курсы и формирует индивидуальную образовательную траекторию на основе реального уровня знаний пользователя. Клиентская часть реализована на JS, что обеспечивает быстрый и отзывчивый интерфейс без перезагрузки страниц, а серверная часть работает на Python [1].

Работа начинается с выбора направления в IT, например: Machine Learning, Frontend, Backend или DevOps. Затем пользователь проходит диагностическое тестирование, охватывающее ключевые темы выбранной области. Тест состоит из модулей с вопросами разной сложности. После его завершения система анализирует результаты и определяет уровень знаний по каждой теме.

На основе анализа формируется персональный roadmap – поэтапный план развития с рекомендациями и полезными ресурсами. В него включаются только те темы, в которых выявлены пробелы, чтобы пользователь не тратил время на уже освоенный материал.

После изучения тем можно пройти повторное тестирование. Система сравнивает результаты, обновляет уровень знаний и корректирует план обучения. Если тема освоена, она исключается из обязательной программы; при необходимости предлагаются дополнительные материалы. Таким образом, обучение становится адаптивным и основанным на регулярной обратной связи [5].

Система построена по клиент-серверной архитектуре. Пользователь может проходить тесты и отслеживать прогресс с помощью индикаторов и диаграмм, а сервер обрабатывает данные и формирует индивидуальный план развития. В базе данных PostgreSQL хранятся профили пользователей, результаты тестов, roadmap и история изменений уровня знаний, что позволяет отслеживать динамику профессионального роста [2].

Интерфейс разработан с акцентом на удобство и минимализм: он интуитивно понятен, не перегружен элементами и помогает сосредоточиться на целях. Для защиты персональных

данных реализована система аутентификации и авторизации, а также предусмотрена возможность интеграции с корпоративными и университетскими системами входа. Алгоритм работы системы представлен на рисунке 1.

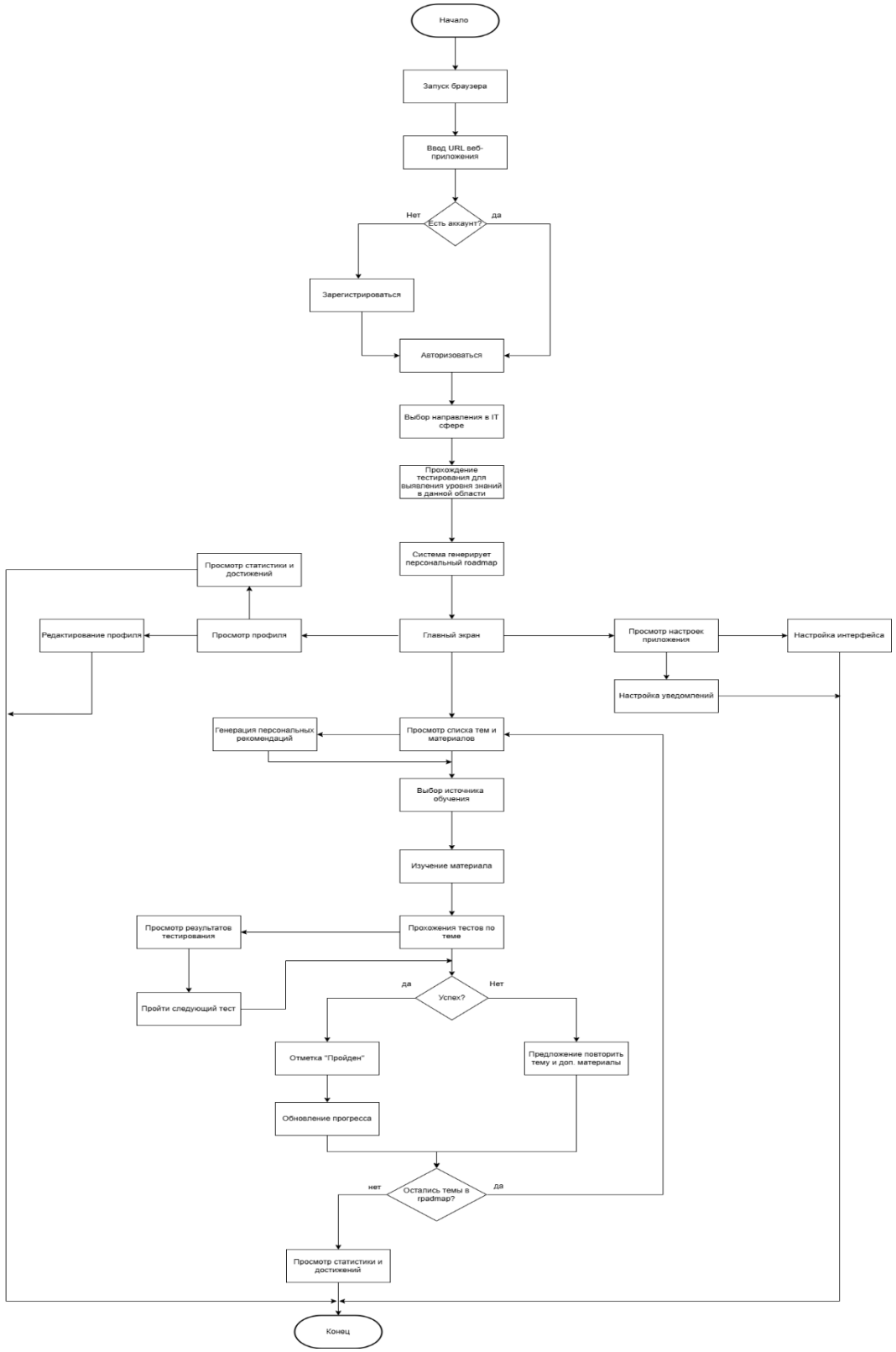


Рисунок 1 – Алгоритм работы системы

На рынке представлено множество онлайн-платформ, однако большинство из них

ограничиваются предоставлением учебного контента. Предлагаемая система отличается тем, что фокусируется на управлении индивидуальной траекторией профессионального развития.

Её ключевая особенность – адаптивное формирование roadmap на основе объективных результатов тестирования и его регулярная корректировка. Такой подход обеспечивает более персонализированное и структурированное развитие карьеры в сфере информационных технологий [3].

Заключение. В ходе работы разработана концепция веб-системы для управления карьерой и развитием навыков в сфере информационных технологий, ориентированная на построение персонализированной образовательной траектории. Предложенный подход основан адаптивном формировании индивидуального roadmap и последующей повторной оценке уровня знаний пользователя.

Разработанная система обеспечивает структурирование процесса обучения, автоматизированный анализ результатов и формирование х рекомендаций по устранению недостатков в знаниях. Использование адаптивной модели способствует более рациональному распределению времени, повышает осознанность обучения и сокращает срок достижения целей.

Особое внимание в проекте уделено эргономике пользовательского интерфейса и удобству взаимодействия с системой. Минималистичный и интуитивно понятный дизайн снижает когнитивную нагрузку и способствует концентрации на учебных целях. Применение клиент-серверной архитектуры и современных технологий разработки обеспечивает масштабируемость, надёжность и возможность расширения функционала.

Таким образом, разработанная веб-система представляет собой актуальное и перспективное решение в условиях динамичного развития IT-рынка и постоянно возрастающих требований к квалификации специалистов. Реализация подобного инструмента может способствовать повышению качества подготовки кадров, формированию прозрачной модели профессионального роста.

Список литературы

1. *Проектирование и разработка веб-приложений : учебно-методическое пособие / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск : БГУИР.*

2. *Радкевич А. С., Радкевич К. А. Веб-приложение для моделирования схем баз данных по учебному предмету «Разработка и сопровождение баз данных» / А. С. Радкевич, К. А. Радкевич – Минск : БГУИР, 2023. – 33 с.*

3. *Кобызов Н. С. Эргономичность интерфейса автоматизированной системы управления тестовыми заданиями / Н. С. Кобызов. – Минск : БГУИР, 2018.*

4. *Киринович И. Ф., Дадаев К. Использование базовых принципов эргономики в web-разработке / И. Ф. Киринович, К. Дадаев. – Минск : БГУИР, 2023.*

5. *Войтович А. А. Веб-приложение с алгоритмами рекомендательной системы / А. А. Войтович. – Минск : БГУИР, 2025. – (Материалы 61-й науч. конф.).*

UDC 004.4:378.147

A WEB APPLICATION FOR IT SKILLS MANAGEMENT AND DEVELOPMENT

Staravoitau P.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Supervisor: Nikolaev A.Yu. – Assistant Professor, Department of EPE

Annotation. This project aims to develop IT skills for specialists using a web-based career planning tool. The system conducts initial testing, analyzes the results, and automatically creates a personalized professional development path. It identifies knowledge gaps, adjusts the curriculum, and suggests appropriate resources for further training.

Keywords: web application, career management, roadmap, adaptive learning, knowledge testing.

УДК 004.77:336.7

ВЕБ-СЕРВИС МОНИТОРИНГА И АНАЛИЗА ЦИФРОВЫХ АКТИВОВ

Степанюк К. С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Казак Т.В. – д.п.н., профессор, заведующий кафедрой ИПиЭ

Аннотация. Целью данной работы является эргономическое проектирование веб-сервиса, предназначенного для мониторинга и анализа цифровых активов в режиме реального времени. В работе решаются задачи агрегации данных из различных блокчейн-сетей и *DeFi*-протоколов, разработки системы превентивных уведомлений о рисках и создания интуитивно понятного интерфейса для визуализации структуры портфеля. Создаваемый сервис позволяет минимизировать когнитивную нагрузку на пользователя и повысить эффективность управления капиталом за счет централизации разрозненной финансовой информации.

Ключевые слова: веб-сервис, цифровые активы, блокчейн, мониторинг, *DeFi*.

Введение. В современной цифровой экономике управление портфелем активов, распределенных по множеству блокчейн-сетей и децентрализованных протоколов (*DeFi*), представляет собой сложную инженерную и аналитическую задачу. Основная проблема заключается в высокой фрагментации данных: инвесторы и управляющие вынуждены использовать десятки разрозненных платформ для отслеживания балансов, состояния ликвидности и залоговых позиций. Это неизбежно ведет к задержкам в получении информации и повышает риск финансовых потерь из-за высокой волатильности рынка и сложности механизмов ликвидации в смарт-контрактах. Существующие программные решения зачастую ограничены поддержкой лишь нескольких популярных сетей или не обеспечивают автоматизированного мониторинга критических показателей в режиме реального времени. В связи с этим возникает острая необходимость в разработке единого аналитического инструмента, способного агрегировать данные из разных источников и предоставлять пользователю актуальную картину состояния его цифрового капитала [1].

Таким образом, разработка специализированного веб-сервиса мониторинга и анализа цифровых активов является актуальной задачей. Создание подобной системы позволит централизовать управление финансовыми потоками в блокчейн-среде, автоматизировать процесс контроля рисков через систему превентивных уведомлений и существенно повысить эффективность принятия инвестиционных решений за счет оперативного доступа к данным.

Основная часть. Разрабатываемый веб-сервис представляет собой специализированный программный комплекс, предназначенный для повышения эффективности и безопасности управления цифровыми активами. Система функционирует как единая платформа, агрегирующая данные о портфеле из различных блокчейн-сетей и *DeFi*-протоколов, предоставляя инструменты для анализа, визуализации и превентивного уведомления о критических изменениях.

При разработке веб-сервиса были выделены следующие функциональные задачи:

– обеспечение единой точки доступа для мониторинга разрозненных цифровых активов;

– реализация сбора и отображения данных о состоянии портфеля и *DeFi*-позиций в режиме реального времени;

– внедрение системы умных уведомлений, предупреждающих пользователя о потенциальных финансовых рисках;

– обеспечение контроля над отслеживанием кошельков и гибкой настройки отображения данных.

Для реализации функционала системы и обеспечения требований к производительности были выбраны следующие языки программирования: *HTML*, *CSS*, *JavaScript* (фронтенд-часть), *Python* (бэкенд-логика и обработка данных) [2]. Для организации данных выбрана реляционная СУБД *PostgreSQL* для хранения профилей и адресов, *NoSQL*-хранилище *Redis* для кэширования оперативных данных.

На этапе проектирования веб-приложения были определены основные функции системы:

– добавление кошелька пользователем;
– удаление кошелька пользователем;
– управление отслеживанием кошельков (включение/выключение);
– агрегация данных о цифровых активах;
– отображение общей стоимости портфеля;
– визуализация структуры активов;
– детальный просмотр *DeFi*-позиций;
– настройка параметров уведомлений;
– отправка уведомления пользователю;
– просмотр истории изменений стоимости активов;
– сортировка списка активов (по возрастанию/убыванию);
– фильтрация списка активов (скрытие малых балансов, группировка по токенам);
– обновление данных в реальном времени;
– отображение текущего баланса запросов;
– пополнение баланса запросов.

Проектирование веб-сервиса осуществлялось с учетом функциональных требований к системе и необходимости обеспечения оперативного мониторинга финансовых показателей. На начальном этапе были разработаны алгоритмы работы пользователя, описывающие последовательность действий при выполнении основных сценариев: добавление криптокошельков, отслеживание *DeFi*-позиций, расчет коэффициента здоровья (*Health Factor*) и настройка уведомлений о рисках. На основе разработанных алгоритмов построена структурная схема взаимодействия пользователя с веб-сервисом, блокчейн-сетями и внешними источниками рыночных данных.

Для формализации функциональных требований разработана диаграмма вариантов использования, которая определяет границы системы и доступные пользователю функции по управлению цифровыми активами. На основе диаграммы вариантов использования разработан сценарий информационного взаимодействия пользователя с программным комплексом, детализирующий обмен данными между модулем агрегации, блокчейн-сетями и интерфейсом системы при выполнении ключевых операций: получении балансов, анализе *DeFi*-позиций и генерации уведомлений о рисках.

На этапе проектирования пользовательского интерфейса разработаны прототипы основных экранов веб-сервиса, обеспечивающих визуализацию различных типов данных: главный экран, экран с круговой диаграммой распределения активов, а также разделы для отображения токенов, *DeFi*-позиций и *NFT*. Дополнительно спроектирован интерфейс системы уведомлений для оперативного информирования пользователя. Для оценки удобства и эффективности разработанных интерфейсных решений проведена эргономическая оценка пользовательского интерфейса, позволившая выявить и устранить потенциальные проблемы навигации и восприятия информации [3].

На рисунке 1 представлен алгоритм работы пользователя веб-сервиса мониторинга и анализа цифровых активов.

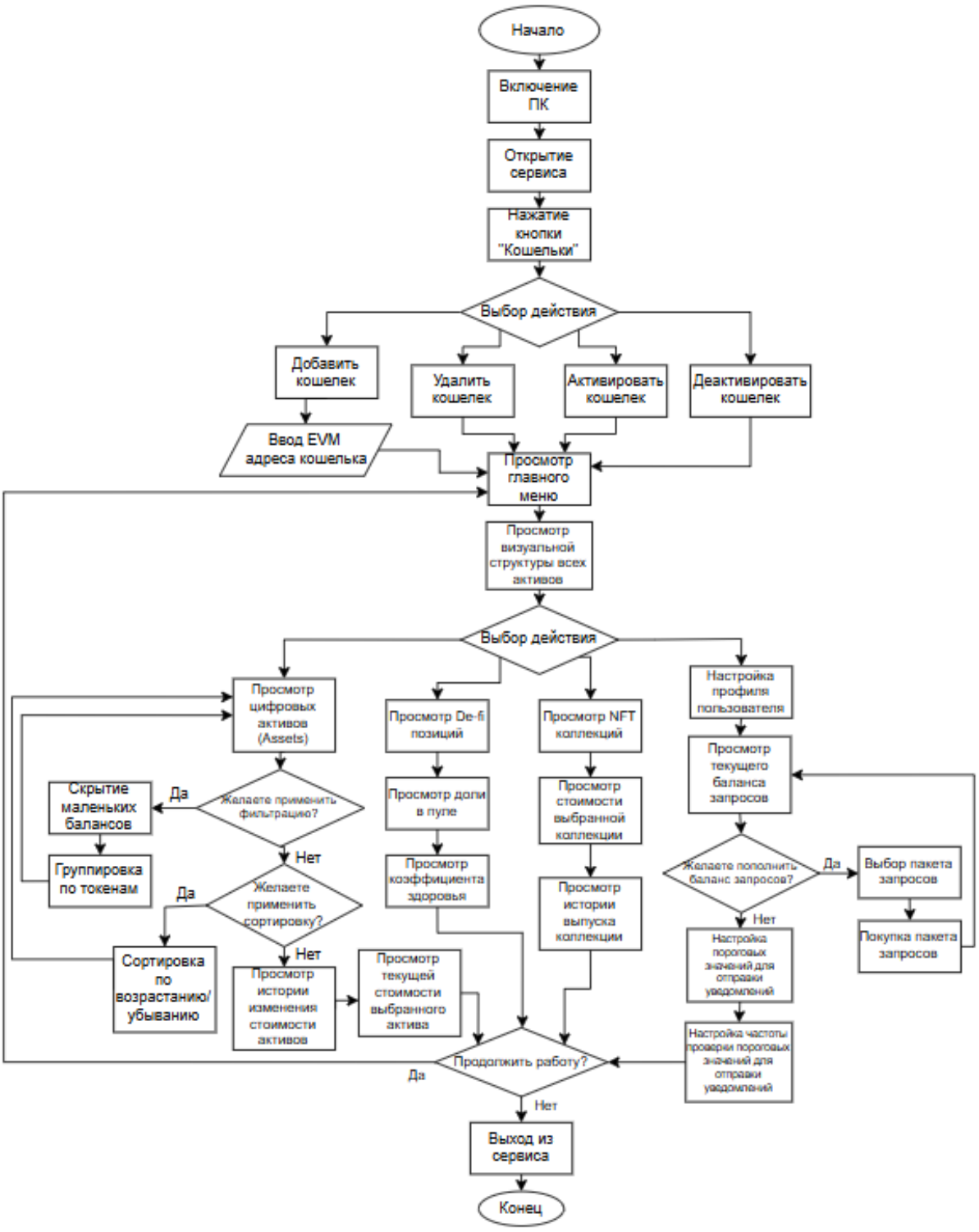


Рисунок 1 – Алгоритм работы пользователя

На рисунке 2 представлены макеты основных страниц веб-сервиса.

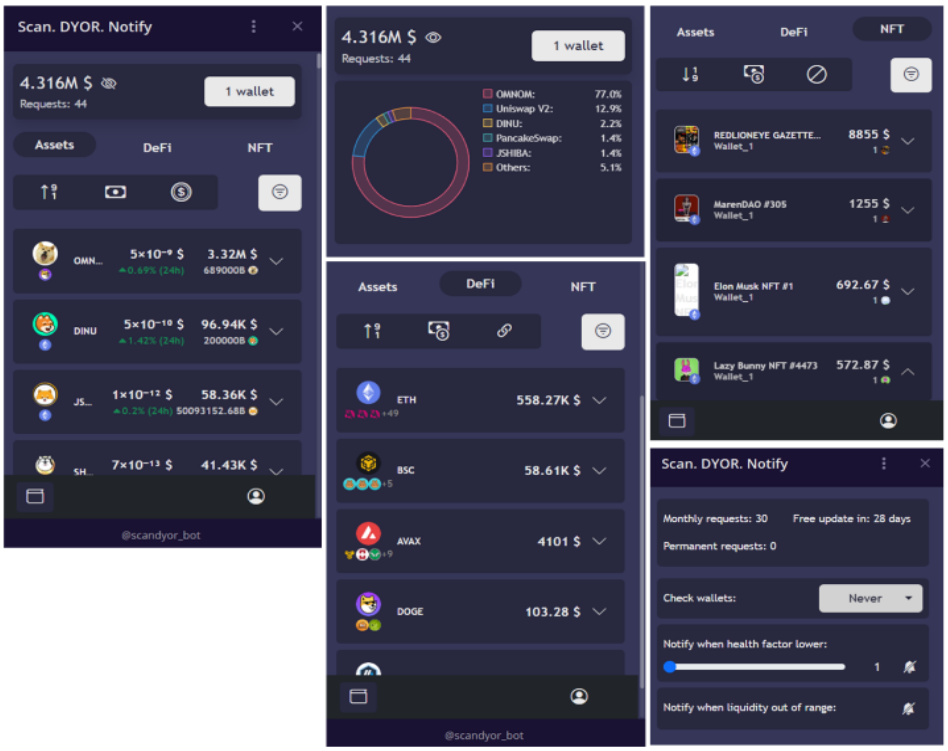


Рисунок 2 – Макеты основных страниц

Заключение. Таким образом, был разработан веб-сервис для мониторинга и анализа цифровых активов. При разработке использованы современные технологии и подходы к проектированию веб-приложений. Все функциональные задачи, поставленные перед системой, реализованы в полном объеме. Результаты оценки подтверждают соответствие пользовательского интерфейса установленным требованиям к удобству и эффективности взаимодействия при работе с финансовой информацией в режиме реального времени.

Список литературы

1. *Саттон, А. Блокчейн от А до Я. Все о технологии будущего / А. Саттон ; [пер. с англ. С. Черникова]. – Москва : Эксмо, 2019. – 160 с. – ISBN 978-5-04-098544-9.*

2. *Прохоренок, Н. А. Python 3. Самое необходимое / Н. А. Прохоренок, В. А. Дронов. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб. : БХВ-Петербург, 2019. – 608 с. – ISBN 978-5-9775-3994-4.*

3. *Сергеев, С. Ф. Методы тестирования и оценки эргономичности информационных систем : учеб. пособие / С. Ф. Сергеев. – СПб : Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 163 с. – ISBN 978-5-7422-3162-2.*

UDC 004.77:336.7

WEB SERVICE FOR MONITORING AND ANALYSIS OF DIGITAL ASSETS

Stepanuk. K.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Kazak T. V. – Dr. of Psy, Professor, Head of the EPE Department

Annotation. The aim of this work is the ergonomic design of a web service intended for real-time monitoring and analysis of digital assets. The work addresses the tasks of data aggregation from various blockchain networks and DeFi protocols, the development of a preventive risk notification system, and the creation of an intuitive interface for portfolio structure visualization. The resulting service allows for the minimization of the user's cognitive load and increases capital management efficiency through the centralization of disparate financial information.

Keywords: web service, digital assets, blockchain, monitoring, DeFi.

УДК 004.42

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО ДЛЯ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ХАРАКТЕРИСТИК ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ ПК

Терешко М.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Франко Е.П.. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ИПиЭ

Аннотация. Разработано программное средство для сравнительного анализа характеристик вычислительных компонентов персонального компьютера на языке программирования *C#*. Программа обеспечивает сбор данных о комплектующих, их систематизацию и наглядное сравнение технических параметров в операционных системах семейства *Windows*.

Ключевые слова: программное средство, анализ характеристик, компоненты ПК, язык программирования *C#*, сравнение комплектующих.

Введение. В современном мире динамичное развитие компьютерных технологий приводит к быстрому устареванию аппаратного обеспечения и появлению на рынке множества конкурирующих моделей комплектующих. Как сборщики ПК, так и обычные пользователи сталкиваются с проблемой выбора оптимальной конфигурации под конкретные задачи: от офисной работы до требовательных игр или профессиональной обработки видео. Существующие обзорные площадки и каталоги часто перегружены информацией или не позволяют провести гибкое сравнение интересующих параметров. Разработка программного средства, предоставляющего возможность структурированного сравнения характеристик (процессоров, видеокарт, модулей памяти и т.д.), позволяет автоматизировать процесс анализа, упрощает подбор совместимых и сбалансированных по производительности компонентов, а также помогает пользователям принимать решения при улучшении или сборке ПК.

Основная часть. При разработке программного средства необходимо решить следующие задачи: проанализировать предметную область и выделить ключевые параметры для сравнения различных типов компонентов; разработать логическую модель данных для хранения информации о процессорах, видеокартах, материнских платах и других устройствах; создать локальную базу данных (или структурированный файл) для хранения эталонных характеристик; реализовать серверную (логическую) часть на *C#* для обработки данных и фильтрации; разработать графический интерфейс для ввода данных пользователем, отображения списков комплектующих и вывода результатов сравнения в табличном виде; провести тестирование приложения для проверки корректности сравнения и удобства использования интерфейса.

Для создания программного средства выбран язык программирования *C#*, что обусловлено его тесной интеграцией с платформой *.NET* [1], наличием библиотек для обработки данных (*LINQ*, *ADO.NET*) и развитых средств создания графических интерфейсов (*Windows Forms*, *WPF*). В качестве формата хранения данных о компонентах используется *SQLite* или *XML*, что обеспечивает легкую расширяемость базы комплектующих без необходимости развертывания отдельных серверов баз данных. Такой подход оптимален для десктопного приложения, ориентированного на локальное использование.

В программном средстве используется архитектурный паттерн *MVC* (*Model-View-Controller*) [2], разделяющий приложение на логику данных (модели компонентов), представление (окна и таблицы) и контроллер (обработчики действий пользователя). Созданы модели для следующих сущностей: центральный процессор (*CPU*), графический процессор (*GPU*), оперативная память (*RAM*).

При проектировании архитектуры составлена диаграмма вариантов использования программного средства. Пользователь имеет возможность: добавлять новые компоненты в базу сравнения, просматривать список имеющихся моделей, получать информацию о компонентах на данном устройстве, выбирать компоненты для сравнения, фильтровать компоненты по

заданным параметрам.

Разработан графический интерфейс *GUI* программного средства, представляющий собой удобный способ навигации по каталогу комплектующих и их сравнения. Главное окно содержит список категорий устройств. При выборе категории (например, «Процессоры») отображается таблица с моделями и их основными характеристиками. Пользователь может отметить интересующие его позиции и нажать кнопку «Сравнить», после чего откроется новое окно с детализированным сравнением выбранных моделей. Пример страницы сравнения процессоров представлен на рисунке 1.

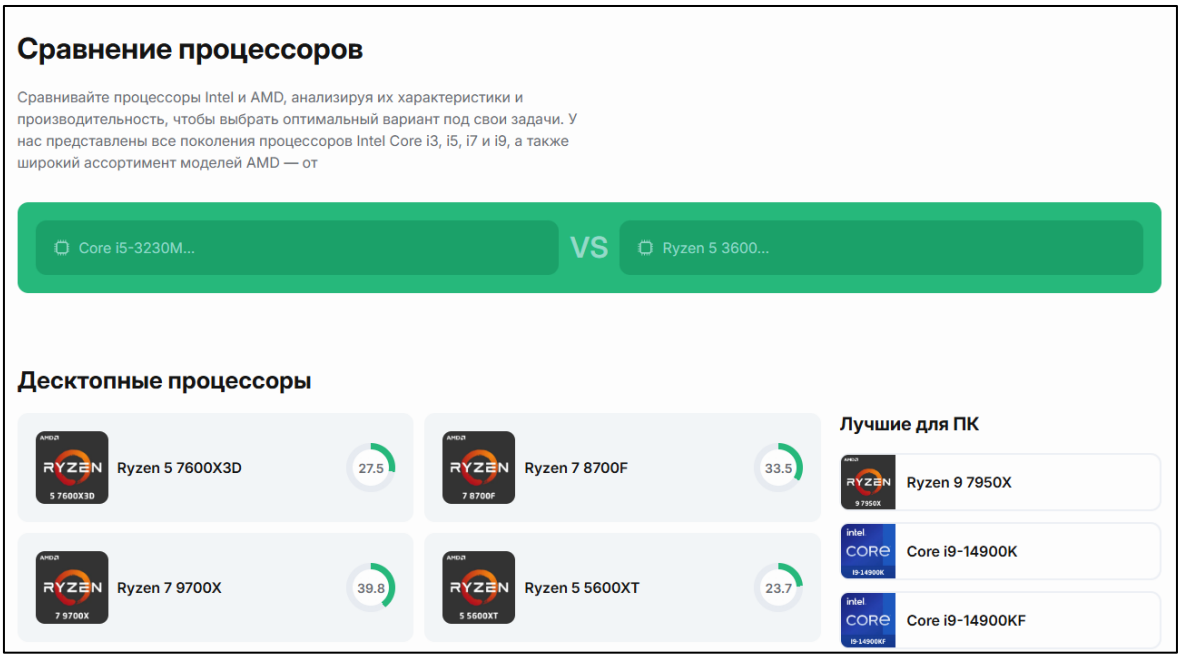


Рисунок 1 – Страница сравнения процессоров в режиме пользователя программного средства

Одним из ключевых этапов является реализация алгоритмов анализа. Для примера на рисунке 2 представлен алгоритм фильтрации и сравнения выбранных компонентов. Пользователь задает критерии, система обращается к базе данных, выбирает соответствующие модели и затем формирует таблицу сравнения, выделяя цветом наилучшие значения (например, максимальную тактовую частоту или наименьшее энергопотребление).

Одним из ключевых этапов при разработке ПО является реализация алгоритмов. В качестве примера на рисунке 2 представлен алгоритм регистрации и авторизации пользователя в программном средстве.

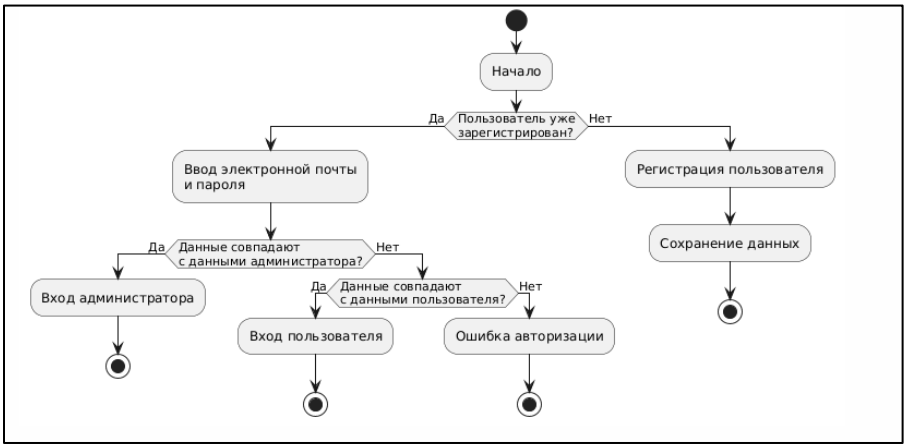


Рисунок 2 – Алгоритм регистрации и авторизации пользователя

Для проверки корректности обработки различных ситуаций проведены модульные тесты с использованием библиотеки *MSTest* [3]. Рассмотрены следующие ситуации: поиск компонента по несуществующему идентификатору, сравнение компонентов из разных категорий (например, процессора и видеокарты), а также корректность расчета интегрированного показателя производительности (при его наличии).

Заключение. Разработано функционирующее программное средство, которое автоматизирует процесс сравнительного анализа характеристик вычислительных компонентов ПК, обеспечивая централизованное хранение данных о моделях и удобный интерфейс для их сопоставления. Реализация данной системы позволяет сократить время на подбор комплектующих и минимизировать риск ошибок при оценке их совместимости и производительности. Для детального описания архитектуры построены диаграммы *UML*, включая диаграммы классов и вариантов использования.

Созданное приложение позволяет пользователям легко ориентироваться в многообразии моделей, проводить их объективное сравнение и делать осознанный выбор в соответствии с индивидуальными потребностями и бюджетом.

Список литературы

1. *Почему выбирают .NET? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://dotnet.microsoft.com/ru-ru/platform/why-choose-dotnet. – Дата доступа: 22.02.2026.*

2. *ASP.NET MVC Pattern [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://dotnet.microsoft.com/en-us/apps/aspnet/mvc. – Дата доступа: 22.02.2026.*

3. *Обзор MSTest [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://learn.microsoft.com/ru-ru/dotnet/core/testing/unit-testing-mstest-intro. – Дата доступа: 22.02.2026.*

UDC 004.42

SOFTWARE TOOL FOR COMPARATIVE ANALYSIS OF PC COMPUTING COMPONENTS CHARACTERISTICS

Tereshko M.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Franko E. P. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of EPE

Annotation. A software tool has been developed for comparative analysis of the characteristics of computing components of a personal computer in the C# programming language. The program provides data collection on components, their systematization and visual comparison of technical parameters in Windows operating systems.

Keywords: software tool, performance analysis, PC components, C# programming language, component comparison.

УДК 004.777:339.16

ИНЖЕНЕРНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ДИЗАЙНА СИСТЕМЫ КАК ФАКТОР УСПЕШНОГО ВНЕДРЕНИЯ АНАЛИТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В БИЗНЕС-СРЕДЕ

Третьяк М.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Карпович Е.Б. – ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. В статье рассматривается проблема низкой эффективности внедрения аналитических информационных систем в среде малого бизнеса, обусловленная недостаточным учетом инженерно-психологических факторов. На примере проектирования системы аналитической отчетности «АналитикаПро» демонстрируется, как трансформация пользовательских требований в функциональные модули и эргономичный дизайн интерфейса способствуют снижению когнитивной нагрузки и повышению уровня принятия системы пользователями.

Ключевые слова: инженерная психология, аналитическая система, *UX/UI*-дизайн, малый бизнес, человеко-компьютерное взаимодействие, когнитивная нагрузка

Введение. В условиях цифровой трансформации малого бизнеса аналитические системы становятся необходимым инструментом для поддержки управленческих решений. Однако, согласно данным *McKinsey & Company*, ключевой причиной неудач при внедрении цифровых решений является сопротивление персонала и низкий уровень принятия технологии [1]. Для малого бизнеса, где ресурсы ограничены, а пользователи зачастую не являются ИТ-специалистами, этот фактор становится критическим. Возникает противоречие между потребностью в аналитике и неготовностью пользователей работать со сложными системами. Особую остроту данному противоречию придает тот факт, что малый бизнес чаще всего не может позволить себе содержать выделенных специалистов по аналитике данных, поэтому работа с системой ложится на плечи руководителей и менеджеров, для которых каждый час работы имеет высокую стоимость. Разрешение этого противоречия лежит в плоскости инженерно-психологического проектирования, где в центре внимания находятся не только функции, но и когнитивные возможности человека [2].

Цель данной работы – продемонстрировать на примере разработки системы «АналитикаПро», как применение принципов инженерной психологии позволяет создать интерфейс, минимизирующий когнитивные барьеры и обеспечивающий успешное внедрение аналитического инструмента в бизнес-среде. В качестве методологической основы выступает системный анализ требований пользователей и их последующая трансформация в конкретные проектные решения.

Основная часть. Анализ научных исследований показывает, что перегруженность интерфейса и его несоответствие ментальным моделям пользователей ведут к росту числа ошибок и отказу от использования системы. Как справедливо отмечает А. В. Вострых, необходимо оценивать когнитивную, визуальную и моторную нагрузки, воздействующие на пользователя, для повышения его работоспособности в программе [3]. Помимо функциональной нагрузки, серьезным барьером является психологическое неприятие нового инструмента. Сопротивление персонала часто вызвано страхом ошибки и ростом когнитивной нагрузки, что снижает субъективное чувство контроля над рабочим процессом. Это подтверждается классическими исследованиями в области человеко-компьютерного взаимодействия, согласно которым потеря контроля над системой является одним из наиболее сильных стрессогенных факторов в профессиональной деятельности.

Проектирование системы «АналитикаПро» началось с анализа пользовательской аудитории – собственников и менеджеров малого бизнеса, не обладающих глубокими аналитическими навыками. В соответствии с методологией *User-Centered Design*, были

проведены полуструктурированные интервью с потенциальными пользователями и наблюдение за их текущими рабочими процессами при работе с электронными таблицами. Результатом этого анализа стала трансформация требований в функциональные модули, основанные на следующих инженерно-психологических принципах:

1 Минимизация когнитивной нагрузки и визуальная иерархия. Исследования в области когнитивной психологии подтверждают, что перегруженность интерфейса ведет к росту числа ошибок и снижению эффективности работы [4]. Главный экран системы спроектирован как информационная панель, где ключевые метрики визуализируются в виде крупных карточек в верхней части экрана (рис. 1). Это реализует принцип «визуальной иерархии», позволяя пользователю мгновенно оценить состояние дел, не погружаясь в детали [5].

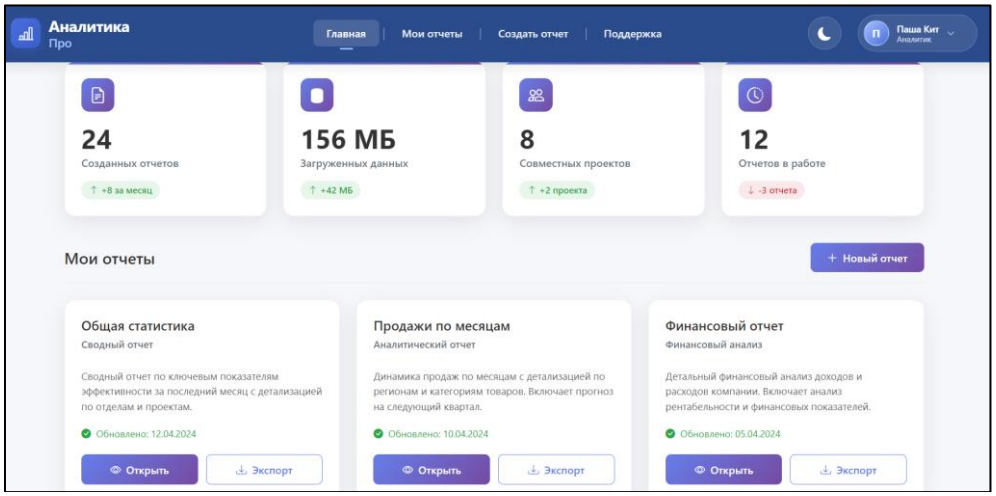


Рисунок 1 – Главная панель системы «АналитикаПро» с визуализацией ключевых метрик

2 Логическая группировка и прозрачность. Список отчетов структурирован как набор понятных карточек, каждая из которых содержит название, тип и краткое описание. Это делает систему «прозрачной», что, согласно требованиям к человеко-центрированным системам, позволяет пользователю понимать логику работы и внутренние процессы без дополнительных усилий.

3 Рациональное распределение функций. Следуя теории распределения функций, вычислительные и рутинные операции целесообразно автоматизировать, передавая их компьютеру, тогда как интерпретация данных и принятие решений должны оставаться за человеком. В разработанной системе рутинные операции по загрузке и первичной обработке данных из электронных таблиц автоматизированы. За человеком закреплены задачи интерпретации данных и принятия решений. Интерфейс поддерживает это разделение: статусы обработки файлов четко обозначены, что снижает тревожность пользователя и повышает доверие к системе [6].

4 Управляемость и контроль. Важным требованием для успешной гибридной системы является сохранение чувства контроля у пользователя. В «АналитикаПро» это реализовано через историю активности, где каждое действие фиксируется с указанием времени и статуса (рис. 2). Пользователь в любой момент может отследить путь данных, что формирует положительный пользовательский опыт и доверие к результатам аналитики [7].

Применение данных принципов позволило адаптировать сложную аналитику под когнитивные возможности человека. Интерфейс направляет пользователя, а не перегружает его, что критически важно для малого бизнеса, где время – ключевой ресурс. Снижение когнитивной нагрузки и времени на выполнение типовых операций напрямую влияет на скорость принятия системы и, как следствие, на успешность её внедрения.

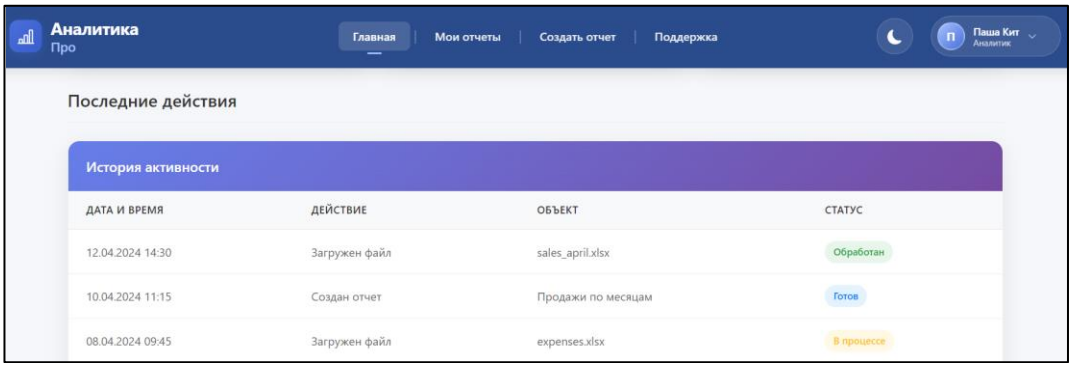


Рисунок 2 – Модуль истории активности, обеспечивающий прозрачность и контроль

Заключение. В результате проведенной работы было установлено, что инженерно-психологическое обоснование дизайна является не просто дополнительным улучшением, а фундаментальным фактором успешного внедрения аналитических систем в малом бизнесе. На примере разработки «АналитикаПро» показано, что проектирование, ориентированное на пользователя – от анализа его потребностей до реализации принципов визуальной иерархии, прозрачности и распределения функций – позволяет преодолеть основную причину неудач цифровизации: человеческий фактор. Полученные выводы подтверждают, что инвестиции в эргономику интерфейса на этапе проектирования обеспечивают более высокий уровень принятия системы и, в конечном итоге, её экономическую эффективность.

Список литературы

1. *McKinsey & Company. Unlocking success in digital transformations [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.mckinsey.com/capabilities/people-and-organizational-performance/our-insights/unlocking-success-in-digital-transformations. Дата доступа: 17.02.2026.*

2. *Card S., Moran T., Newell A. The Psychology of Human-Computer Interaction. – Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates, 1983.*

3. *Вострых А.В. Имитационная компьютерная модель для оценки и тестирования согласованности информационно-функциональных элементов графических пользовательских интерфейсов // Вестник МЭИ. – 2025. – № 2. – С. 170–178. DOI: 10.24160/1993-6982-2025-2-170-178.*

4. *Fouladlou B., Sadeghi M., Koleini Mamaghani N., Rezaei M. Evaluation of UI/UX cognitive load by tracking mouse and analyzing placement duration // Advances in Cognitive Sciences. – 2025. – Vol. 27, № 2. – P. 96–107.*

5. *Норман Д. Дизайн привычных вещей. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2018. – 384 с.*

6. *Сергеев С. Ф. Психологические аспекты проблемы интерфейса в техногенном мире // Психологический журнал. – 2014. – № 5. – С. 88–98.*

7. *Шагун А. Integrating User-Centric Design in Business Analysis // RE Magazine (IREB). – 2025. – [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://re-magazine.ireb.org/articles/integrating-user-centric-design-in-business-analysis. Дата доступа: 23.02.2026.*

UDC 004.777:339.16

ENGINEERING AND PSYCHOLOGICAL JUSTIFICATION OF SYSTEM DESIGN AS A FACTOR IN THE SUCCESSFUL IMPLEMENTATION OF ANALYTICAL SOLUTIONS IN THE BUSINESS ENVIRONMENT

Tretyak M.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Karpovich E.B. – Senior Lecturer at the Department of IPIE

Annotation. The article considers the problem of low efficiency of implementation of analytical information systems in the small business environment, due to insufficient consideration of engineering and psychological factors. The design of an analytic reporting system «AnalitPro» demonstrates how the transformation of user requirements into functional modules and ergonomic interface design contribute to reducing cognitive load and increase the level of acceptance by users.

Keywords: engineering psychology, analytical system, UX/UI design, small business, human-computer interaction, cognitive load

УДК 004.8:331.108.3

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА НАЙМА И БЕЗОПАСНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДАННЫМИ ПЕРСОНАЛА

Войтович Е.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Бобровничая М.А. – ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. В статье рассматривается автоматизированная система оптимизации процесса найма, которая является частью HRM-платформы. Система предназначена для ускорения первичного отбора кандидатов, повышения качества сопоставления резюме с требованиями вакансий и обеспечения контролируемой обработки персональных данных. В основе решения лежит применение методов обработки естественного языка (NLP) и больших языковых моделей для извлечения структурированных сведений из резюме, нормализации навыков, опыта и других значимых характеристик кандидата, а также для формирования объяснимого ранжирования. С практической точки зрения, система поддерживает резюме в форматах PDF и DOCX, сохранение связи извлечённых фактов с исходными фрагментами текста и использовании этих фрагментов при объяснении результатов анализа. Отдельное внимание уделяется обработке русскоязычных и англоязычных резюме, а также вопросам оценки качества AI-модуля и снижения рисков при работе с чувствительными данными.

Ключевые слова: HRM, найм персонала, скрининг, персональные данные, безопасность, резюме, PDF, DOCX, NLP, LLM, двуязычная обработка, объяснимость.

Введение. На этапе первичного отбора HR-специалисты обрабатывают большое количество резюме, представленных в разных форматах. Это усложняет сопоставление кандидатов с требованиями вакансии и требует значительных временных затрат. Стоит отметить, что одинаковые по смыслу навыки могут описываться разными формулировками, сведения об опыте работы – находиться в разных разделах, а важная информация – включаться в описание опыта или обязанностей. В итоге даже при наличии точных требований первичный скрининг остаётся трудоёмким [1].

Сложности усиливаются при обработке резюме в различных форматах (PDF и DOCX), а также при работе с русскоязычными и англоязычными документами. Кроме того, кадровые процессы требуют соблюдения норм защиты персональных данных, поскольку сведения о кандидатах относятся к чувствительной информации и должны обрабатываться в контролируемом режиме. Таким образом, разработка автоматизированной системы, позволяющей ускорить ранние этапы подбора, унифицировать предварительный анализ резюме и обеспечить безопасное управление кадровыми данными, является актуальной. Цель работы – описание автоматизированной системы оптимизации процесса найма, основанной на методах NLP и языковых моделях, с поддержкой объяснимого сопоставления кандидатов и вакансий и контролируемой обработки персональной информации [2].

Основная часть. Резюме представляет собой неструктурированный текст, в котором значимые для отбора сведения могут быть выражены по-разному и зависеть от контекста. По этой причине в основе системы лежит следующий процесс обработки документов, включающий извлечение текста из файлов PDF и DOCX, его очистку и последующую нормализацию. На данном этапе устраняются последствия форматирования, приводятся к общему формату даты, названия технологий и должностей, а также выделяются основные содержательные блоки: опыт работы, навыки, проекты и образование.

Результатом обработки является очищенный текст документа, и унифицированный профиль кандидата, который может использоваться повторно при изменении требований вакансии или правил оценки. Для кадровых процессов особенно важна возможность проверки полученных выводов, поэтому при извлечении фактов сохраняется связь с исходными фрагментами резюме – предложениями или абзацами, в которых подтверждаются навыки, должности или проектный опыт. Эти фрагменты используются при создании объяснения

результата, делает рекомендации системы более понятными для HR-специалиста.

Разрабатываемая система не рассматривается как замена HR-специалиста. Её назначение состоит в том, чтобы упростить первичный отбор и сделать его более последовательным. Для практического использования важна не только итоговая оценка соответствия кандидата вакансии, но и возможность увидеть, какие требования подтверждаются текстом резюме, какие отражены частично, а какие не подтверждены в явном виде. Такой подход позволяет сократить время обработки откликов, уменьшить нагрузку на специалистов по подбору персонала и сделать предварительное ранжирование кандидатов более обоснованным.

Поддержка двуязычного режима требует, чтобы система корректно извлекала сведения как из русскоязычных, так и из англоязычных резюме, не смешивая терминологию и не искажая смысл при приведении данных к единому виду. Для этого определяется язык документа, после чего применяются соответствующие правила нормализации и словарные соответствия. Сопоставление содержания выполняется не на уровне буквального перевода, а с использованием семантических представлений, позволяющих учитывать, близкие по смыслу формулировки. При этом исходные фрагменты текста сохраняются как подтверждение извлечённых фактов, а в унифицированном профиле фиксируются нормализованные обозначения навыков, ролей и других значимых характеристик.

Это позволяет перейти от анализа отдельных резюме в свободной форме к сравнению унифицированных профилей кандидатов. Для каждого соискателя система может выделять сведения об образовании, профессиональном опыте, ключевых навыках, проектах и других характеристиках, имеющих значение для конкретной вакансии. За счёт этого HR-специалисту проще сопоставлять кандидатов по единым критериям, не тратя дополнительное время на интерпретацию однотипной информации, представленной в разной форме. Особенно это важно при большом количестве откликов, когда необходимо сохранить и скорость первичного отбора, и достаточную обоснованность предварительных решений.

Сопоставление кандидата с вакансией строится на сочетании формализованных требований и оценки семантической близости текстовых описаний. Вакансия задаёт критерии в виде набора компетенций, требований к опыту и дополнительных условий, тогда как резюме представляется как совокупность нормализованных навыков, ролей, предметных областей и подтверждающих фрагментов опыта. На выходе формируется ранжирование кандидатов и пояснение, показывающее, какие требования подтверждаются содержанием резюме, какими фрагментами это подтверждается и какие дефициты компетенций повлияли на итоговую оценку. Качество работы модуля оценивается по метрикам точности и полноты извлечения сущностей, а также по метрикам ранжирования, например NDCG и MRR. Дополнительно учитывается устойчивость системы к незначительным переформулировкам текста резюме и вакансии [3].

Также существует вопрос единообразия оценки кандидатов на начальном этапе подбора. Хотя автоматизированная система не устраняет полностью риск смещений, она позволяет сделать первичный отбор более последовательным за счёт использования заранее заданных критериев сопоставления вакансии и резюме. Важным преимуществом этого подхода является прозрачность предварительных решений: HR-специалист может видеть, какие характеристики кандидата были учтены как релевантные, а какие оказались выражены недостаточно явно. Это повышает доверие к результатам анализа и упрощает проверку спорных случаев.

Безопасное управление персональными данными является обязательной частью системы. Кадровая информация – чувствительные данные и требует контролируемой обработки. В данной платформе это достигается за счет разграничении прав доступа к резюме и результатам анализа, фиксации действий пользователей и ограничении объёма данных, доступных на каждом этапе работы. Такой подход позволяет снизить риски, связанные кадровыми процессами, и повысить безопасность обработки персональной информации [4].

Практическая ценность подобных решений определяется не только точностью сопоставления резюме и вакансии, но и возможностью их включения в реальный кадровый процесс. Система первичного отбора должна автоматизировать рутинные операции, сокращать время предварительной обработки откликов и поддерживать единый порядок анализа кандидатов. Существенное значение при этом имеет поддержка резюме в форматах PDF и DOCX, а также учёт двуязычного контекста при обработке русскоязычных и англоязычных

документов. Таким образом, автоматизированный анализ резюме может использоваться как практический инструмент повышения эффективности подбора персонала.

Заключение. В работе рассмотрена автоматизированная система оптимизации процесса найма, ориентированная на ускорение первичного отбора кандидатов и повышение обоснованности предварительного ранжирования резюме. Использование методов обработки естественного языка и языковых моделей позволяет извлекать из резюме структурированные сведения, приводить их к унифицированному представлению и сопоставлять с требованиями вакансии с учётом семантической близости формулировок. Это особенно важно при обработке документов в форматах PDF и DOCX, а также при работе с русскоязычными и англоязычными резюме.

Данная платформа несет следующую практическую значимость: HR-специалист получает не только итоговую оценку соответствия кандидата вакансии, но и основания для такой оценки в виде фрагментов исходного текста резюме. Такой подход позволяет сделать первичный скрининг более единообразным, сократить время обработки откликов и повысить прозрачность предварительных решений. Также система подразумевает учёт требований к защите персональных данных за счёт разграничения доступа к информации и контролируемой обработки кадровых документов, что повышает надёжность использования системы в реальных HR-процессах [5].

Список литературы

1. *Особенности подбора персонала: интеллектуальный анализ текстов резюме и вакансий // CyberLeninka. – URL: cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-podbora-personala-intellektualnyy-analiz-tekstov-rezyume-i-vakansiy.*

2. *Закон Республики Беларусь от 07.05.2021 № 99-З «О защите персональных данных» // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: pravo.by/document/?guid=12551&p0=H12100099.*

3. *Ранжирование резюме с использованием NLP (выпускная квалификационная работа) // НИУ ВШЭ. – URL: hse.ru/edu/vkr/1052911017.*

4. *Приказ Оперативно-аналитического центра при Президенте Республики Беларусь от 12.11.2021 № 195 «О технической и криптографической защите персональных данных» // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: pravo.by/document/?guid=3961&p0=T62104893.*

5. *Национальный центр защиты персональных данных Республики Беларусь. Правовые основания обработки персональных данных (разъяснение). – URL: cpd.by/zachita-personalnyh-dannyh/operatoru/pravovye-osnovanija-obrabotki/.*

UDC 004.8:331.108.3

AUTOMATED SYSTEM FOR HIRING PROCESS OPTIMIZATION AND SECURE PERSONAL DATA MANAGEMENT

Vaitovich Y.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Bobrovnichaya M.A. – Senior Lecturer of the Department of IPiE

Annotation. The paper presents an automated system for hiring process optimization developed as a part of an HRM platform. The system is aimed at accelerating the initial screening stage, improving the consistency of candidate-to-vacancy matching, and supporting secure processing of personal data. The proposed solution applies natural language processing methods and large language models to extract structured information from CVs, normalize skills and experience, and generate an explainable ranking of candidates. The system supports PDF and DOCX resumes, preserves links between extracted facts and source text fragments, and operates with both Russian- and English-language CVs. Special attention is paid to evaluation of extraction and ranking quality, robustness of the AI module, and controlled handling of sensitive personnel data.

Keywords: HRM, hiring, personal data, security, CV, PDF, DOCX, NLP, LLM, bilingual processing, explainability.

УДК 628.9.04-047.44

ОЦЕНКА УРОВНЯ СВЕТОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В НОЧНОМ ГОРОДЕ

Бабинович А.С., Булавко К.И.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Камлач В.И. – магистр технических наук, ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. Экспериментально исследован уровень светового загрязнения в ночном городе путем сопоставления экспериментально полученных данных со шкалой Бортля. Произведен сравнительный анализ полученных данных с мировыми с использованием специализированного приложения-карты светового загрязнения.

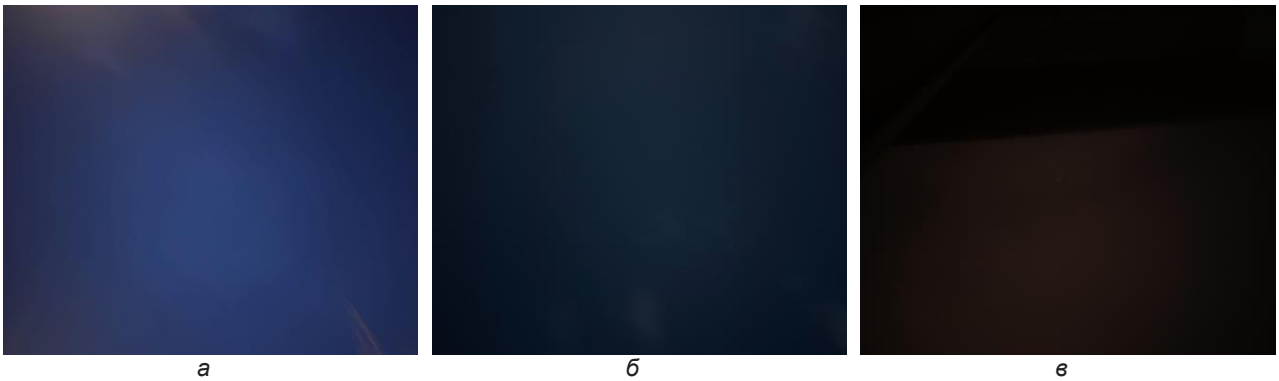
Ключевые слова: искусственное освещение, гистограмма, световое загрязнение, световой купол, шкала Бортля

Введение. Фонари, архитектурная подсветка, рекламные экраны, витрины магазинов и фары автомобилей создают световое загрязнение - форму физического загрязнения, которая связана с превышением допустимого уровня освещения в ночном городе. Рост уровня засветки ночного неба не только препятствует астрономическим наблюдениям, но и оказывает негативное воздействие на биологические ритмы живых организмов.

В данной статье авторами исследован уровень светового загрязнения на основании экспериментальных данных. Установлены факторы, обусловившие полученные результаты. Проведена оценка соответствия полученных результатов с мировыми данными светового загрязнения.

Основная часть. Весомая часть искусственного освещения ночного города отражается вверх, что создает над городом “световой купол”. Находящиеся в воздухе частицы пыли усиливают осветление неба путем отражения, преломления и рассеивания света [1]. Слишком сильное световое загрязнение имеет последствия: оно размывает звездный свет в ночном небе, мешает астрономическим исследованиям, оказывает неблагоприятное воздействие на здоровье людей и впустую расходует энергию [2].

Для оценки уровня светового загрязнения ночного города были получены фотографии ночного неба в следующих локациях: центр города (рисунок 1, а), спальный район (рисунок 1, б), пригород (рисунок 1, в). Для обеспечения сопоставимости результатов все фотоснимки выполнялись с использованием одинаковых настроек в единое время - 22.02.2026, 22:14. Использовались следующие настройки камеры: ISO 100, выдержка 8 секунд, диафрагма 1.9, wb auto.



а *б* *в*

Рисунок 1 – Фотография ночного неба: а - в центре города, б - в спальном районе, в - в пригороде

Как можно заметить из приведенных выше фотоснимков, максимальное световое загрязнение сосредоточено в центре города, минимальное - в пригороде. Максимальный уровень светового загрязнения в центральных районах объясняется высокой плотностью

источников освещения и повышенным содержанием частиц пыли в воздухе. В свою очередь минимальный уровень светового загрязнения в пригороде связан с меньшей интенсивностью уличного освещения.

Визуально оценивая полученные фотоснимки, соотнесем состояния ночного неба с градациями шкалы Бортля [3], изображенной на рисунке 2. Для ночного неба в центре города характерна яркая засветка и отсутствие звезд, что соответствует 8/9 баллам по шкале Бортля. В спальном районе небо насыщенное, темно-синее, видимость слабых звезд минимальна, что соответствует 7 баллам по шкале Бортля. В пригороде небо темное, коричнево-черное, видны яркие и умеренно яркие звезды, что соответствует 6 баллам по шкале Бортля.

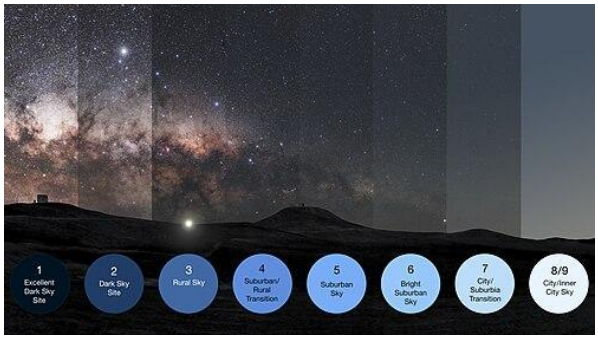


Рисунок 2 – Шкала светового загрязнения Бортля

На основе фотоснимков ночного неба построены гистограммы (рисунки 3 - 5). Используя такие характеристики, как яркость (описывается кривой черного цвета) и медианы каналов, можно проанализировать степень светового загрязнения. Характеристики гистограмм приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Медианы каналов

Локация	**Медиана**
Пригород	12
Спальный район	27
Центральный район	55

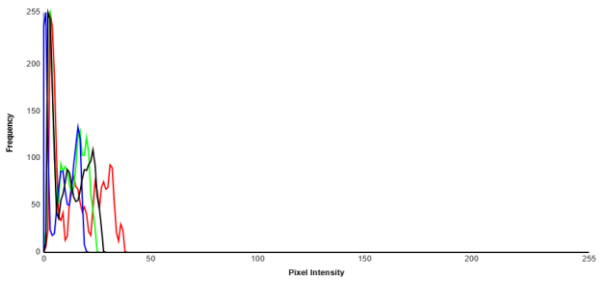


Рисунок 3 – Гистограмма фотоснимка пригорода

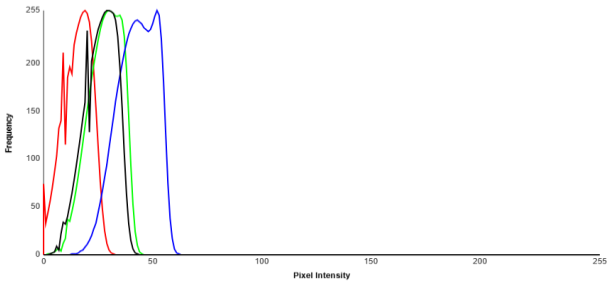


Рисунок 4 – Гистограмма фотоснимка спального района

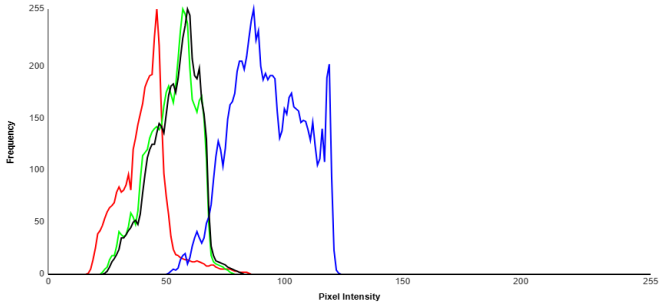


Рисунок 5 – Гистограмма фотоснимка центрального района

Полноту светового загрязнения можно определить по положению пика: чем правее пик при одинаковых настройках фотографии, тем сильнее световое загрязнение. На первой диаграмме пик находится в пределах от 0 до 14 (0 - 5% от полной шкалы), значение его медианы - 12. На второй гистограмме пик располагается в зоне от 10 до 50 (5 - 20% от полной шкалы), его медиана - 27. На третьей гистограмме пик сдвигается в область от 40 до 70 (20 - 30% от полной шкалы), его медиана - 55. Как видно из приведенных данных, уровень светового загрязнения увеличивается от пригорода к центральному району города.

Для проведения сравнительного анализа экспериментальных данных с мировыми значениями светового загрязнения была использована карта светового загрязнения (LightPollutionMap.app) [4]. Согласно мировым данным, центру города соответствует 8.1 баллов по шкале Бортля, спальному району - 7.8 баллов по шкале Бортля, пригороду - 5.7 баллов по шкале Бортля. Таким образом, полученные в результате эксперимента данные согласуются с мировыми значениями светового загрязнения.

Заключение. Получены фотоснимки ночного Минска в центральном, спальном районах и пригороде. Фотографии выполнены с едиными настройками и в единое время. Проведена оценка уровня светового загрязнения г. Минска путем сопоставления полученных экспериментальных данных со шкалой Бортля. Построены гистограммы по фотоснимкам. Установлено соответствие результатов эксперимента с мировыми данными светового загрязнения.

Список литературы

1. *Брайтэлек [Электронный ресурс]. Режим доступа:https://brightelec.ru/svetovoezagryaznenie*

2. *ТРЕНДЫ [Электронный ресурс]. Режим доступа:https://trends-rbc-ru.cdn.ampproject.org/v/s/trends.rbc.ru/trends/amp/news/6149fd229a79471217e745c1?amp_gsa=1&amp_js_v=a9&usqp=mq331AQIUAKwASCAAgM%3D#amp_tf=%D0%98%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%BA%3A%20%251%24s&aoh=17721213387544&referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com&ampshare=https%3A%2F%2Ftrends.rbc.ru%2Ftrends%2Fgreen%2F6149fd229a79471217e745c1*

3. *Вікіпедыя [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://be.wikipedia.org/wiki/%D0%A8%D0%BA%D0%B0%D0%BB%D0%B0_%D0%91%D0%BE%D1%80%D1%82%D0%BB%D1%8F*

4. *Карта светового загрязнения [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://lightpollutionmap.app/ru/*

UDC 628.9.04-047.44

ASSESSMENT OF THE LEVEL OF LIGHT POLLUTION IN THE NIGHT CITY

Babinovich A.S., Bulavko K.I.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Scientific supervisor: Kamlach V.I. – Master of Technical Sciences, Senior lecturer of the department of EPE

Annotation. The level of light pollution in a night city was experimentally investigated by comparing the experimentally obtained data with the Bortl scale. A comparative analysis of the data obtained with the world data was carried out using a specialized application-maps of light pollution.

Keywords: artificial lighting, histogram, light pollution, light dome, Bortle scale.

УДК 159.9.072:331.101.3

ТРУДОВЫЕ ЦЕННОСТИ ПОКОЛЕНИЙ Y И Z: СОЗДАНИЕ АДАПТИВНЫХ HR-СТРАТЕГИЙ

Гетманчук Д.Г., Кляус А.Б.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Яцкевич А.Ю. – ст. преподаватель кафедры ИПЭ

Аннотация. В статье представлены результаты сравнительного анализа трудовых ценностей поколений Y и Z. Доказано наличие различий в таких аспектах, как мотивация, формат занятости и карьерные ожидания: поколение Y ориентировано на самореализацию, в то время как поколение Z демонстрирует потребность в автономии.

Ключевые слова: трудовая мотивация, трудовые ценности, поколение Y, поколение Z, HR-стратегии.

Введение. На сегодняшний день на рынке труда основными группами работников являются миллениалы (поколение Y) и зумеры (поколение Z). Цифровая трансформация и меняющиеся экономические условия привели к тому, что представители данных поколений демонстрируют разные подходы к выстраиванию своей карьеры [1].

Поколение Y формировалось в период становления рыночной экономики, что обусловило их стремление к карьерному росту и самореализации в рамках чётких иерархических структур [2]. В то же время поколение Z, выросшее в эпоху глобальной цифровизации, демонстрирует запрос на свободу действий, технологичность процессов и личный комфорт [3]. Понимание этих различий важно для создания благоприятной рабочей среды.

Основная часть. На основе анализа литературных данных нами были сформированы психологические профили представителей различных поколений (рисунок 1).



Рисунок 1 – Психологические профили поколений

Нами было проведено эмпирическое исследование различий в системе трудовых ценностей представителей различных поколений работников. Гипотеза исследования: для миллениалов приоритетным является карьерное продвижение и статус, в то время как для зумеров на первый план выходят финансовая стабильность и личный комфорт [2].

Для эмпирической проверки гипотезы был проведён опрос, в котором приняли участие 23 представителя поколения Y и 27 представителей поколения Z. Для проверки статистической значимости выявленных различий в ответах респондентов использовалось угловое преобразование Фишера. Полученные результаты представлены ниже (таблица 1).

Таблица 1 – Сравнительный анализ трудовых ценностей поколений

Параметр сравнения	Поколение	Доля (%)	φ (рад.)	$\varphi^{*}_{эмп}$ (рад.)
Карьерный рост	Y	52,2	1,615	1,635
	Z	29,6	1,151	
Финансовая стабильность	Y	17,4	0,861	1,575
	Z	37,0	1,308	

Анализ полученных данных свидетельствует о наличии различий в приоритетах. По параметру «карьерный рост» лидирует поколение Y (52,2% против 29,6%), различия являются статистически значимыми при вероятности ошибки p=0,05. Представители поколения Z гораздо чаще выбирают финансовую стабильность (37,0% против 17,4%) как главное условие для того, чтобы оставаться в компании (наблюдается тенденция к статистической значимости различий, вероятность ошибки p=0,06).

Таким образом, для поколения Y эффективная HR-стратегия должна включать чёткие планы профессионального развития и систему обучения, так как миллениалы высоко ценят стабильность и возможность самореализации в рамках понятной корпоративной структуры [2; 4]. Для поколения Z предпочтительнее HR-стратегия адаптивной автономии и управления по результатам [3]. Она предполагает отказ от жёсткого контроля в пользу гибкого графика и оценки работы по KPI. Использование современных технологий и предоставление свободы в выборе инструментов позволяют повысить вовлеченность в рабочий процесс [4].

Заключение. В ходе проведённого исследования было доказано, что трудовая мотивация поколений Y и Z имеет различия, обусловленные контекстом их взросления. Для миллениалов ключевым стимулом является профессиональный статус и карьерный рост. В то же время для зумеров на первый план выходят комфорт и финансовая стабильность [2].

Полученные данные могут быть использованы HR-специалистами для разработки более гибких систем мотивации. Учёт специфики каждого поколения позволит компаниям эффективнее привлекать и удерживать сотрудников в условиях современного рынка труда.

Список литературы

1. *Аранжин, В. В. Влияние трудовых ценностей различных поколений на выбор занятости / В. В. Аранжин // Экономика труда. – 2019. – Т. 6, № 1. – С. 313–324.*

2. *Радаев, В. В. Миллениалы и поколение Z: изменения ценностей и поведения на рынке труда / В. В. Радаев. – М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2019. – 312 с.*

3. *Дашкова, Е. С. Особенности трудовой мотивации работников поколения Z / Е. С. Дашкова, О. М. Трубникова, Н. И. Хромов. – М.: Научное издание, 2021. – 12 с.*

4. *Шамис, Е. А. Теория поколений и управление молодёжью в организации / Е. А. Шамис, А. В. Никонов. – М.: Альпина Паблишер, 2020. – 368 с.*

UDC 159.9.072:331.101.3

LABOR VALUES OF GENERATIONS Y AND Z: CREATING ADAPTIVE HR-STRATEGIES

Getmanchuk D.G., Klaus A.B.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Scientific supervisor: Yatskevich A.Y. – senior lecturer of the department of IPE

Annotation. The article presents the results of a comparative analysis of the labor values of generations Y and Z. There are differences in aspects such as motivation, employment format and career expectations: generation Y is focused on self-realization, while generation Z demonstrates the need for autonomy.

Keywords: labor motivation, labor values, generation Y, generation Z, HR-strategies

УДК 004.65:004.8

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОГО АРХИВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ПЕРЕХОДА К БЕЗБУМАЖНОМУ ХРАНЕНИЮ ИНФОРМАЦИИ

Герасимович А.Ю; Бобровская В.Е.

Белорусский Государственный Университет Информатики и Радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Цявловская Н.В. – магистр технических наук, ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. Разработана онлайн-платформа для хранения и представления информации, рассматриваемая как экологически устойчивый способ цифрового архивирования. Переход от бумажных носителей к цифровым технологиям позволяет сократить использование бумаги и уменьшить потребление природных ресурсов. При загрузке документов система автоматически выполняет их анализ с помощью искусственного интеллекта: извлекает текст, создает краткое описание и определяет ключевые теги, что значительно упрощает последующий поиск определенных данных. Платформа объединяет различные виды материалов, включая факты, фотографии, статистические данные и публикации, обеспечивая их долгосрочное хранение и передачу будущим поколениям.

Ключевые слова. искусственный интеллект, цифровой архив, экология, устойчивое развитие, цифровые технологии, историческое наследие.

Введение. Сохранение информации традиционно осуществлялось с помощью бумажных архивов, которые требуют значительных материальных и природных ресурсов. Производство бумаги связано с использованием древесины, воды и энергии, что оказывает влияние на окружающую среду. В условиях развития цифровых технологий появилась возможность перехода к более экологичным способам хранения информации. Онлайн-архивы позволяют сохранять большие объёмы данных в цифровом формате, снижая необходимость печати и физического хранения документов [1]. Переход к цифровым архивам в современном мире позволяет одновременно решать задачи сохранения информации на многие десятилетия вперед и сокращения использования природных ресурсов [2].

Основная часть. Онлайн-платформа представляет собой цифровой архив, предназначенный для хранения различных видов информации. На платформе могут размещаться исторические события, фотографии, документы, публикации и другие материалы, необходимые для различных организаций, проектов или сообществ. Достоинством архива является возможность долговременного хранения, что исключает риск потери документов и других материалов.

Структура платформы позволяет представлять данные в удобном формате, обеспечивая быстрый доступ к необходимой информации. Инструменты сквозного поиска позволяют быстро находить нужные материалы, так как система ищет одновременно по полному содержимому документов, их названиям, тегам и метаданным. Главной функцией платформы является встроенный *AI*-модуль: он автоматически изучает файл при загрузке и создает краткий обзор. Это экономит время, позволяя пользователю сразу понять суть документа, не открывая его. ИИ также формирует набор тегов на основе текста. Это превращает архив в интеллектуальную систему, где документы самостоятельно классифицируют себя. Для реализации онлайн-архива разработано адаптивное веб-приложение на основе библиотеки *React* и облачной платформы *Supabase*. Система включает публичный интерфейс для пользователей и защищенную административную панель, поддерживающую механизм аутентификации и загрузку *PDF*-документов с использованием паттерна «*drag-and-drop*».

Серверная инфраструктура использует возможности работы с СУБД *PostgreSQL* для структурированного хранения метаданных и объектное хранилище *Supabase Storage* для размещения файлов. Безопасность и разграничение прав доступа к документам обеспечиваются на уровне базы данных через политики безопасности строк. Взаимодействие между клиентом и сервером осуществляется посредством асинхронных запросов *RESTful API*.

Особое внимание при проектировании интерфейса уделено принципам адаптивной верстки, что гарантирует качественное отображение архивных материалов на различных типах устройств, включая персональные компьютеры, планшеты и смартфоны. Модульный подход к разработке позволяет легко расширять функционал системы, например, использовать дополнительные форматы файлов. Использование облачной инфраструктуры обеспечивает высокую доступность сервиса и отказоустойчивость хранилища, что является важным фактором для долгосрочного сохранения цифрового наследия. Для управления архивными материалами предусмотрен административный интерфейс, позволяющий загружать и редактировать документы в цифровом формате. Интерфейс панели загрузки документа представлен на рисунке 1, а публичный интерфейс архива – на рисунке 2.

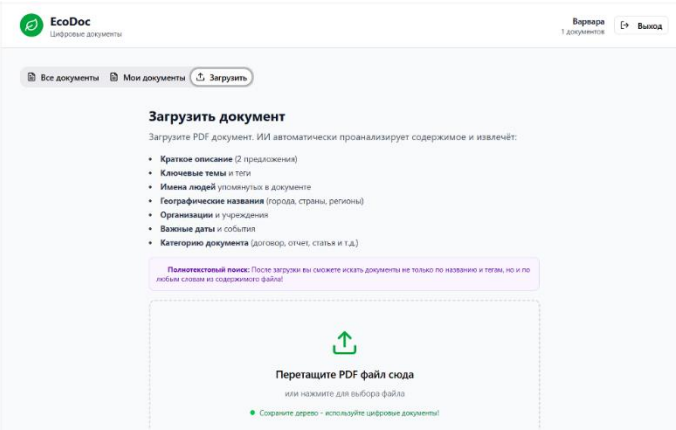


Рисунок 1 – Интерфейс панели загрузки документов

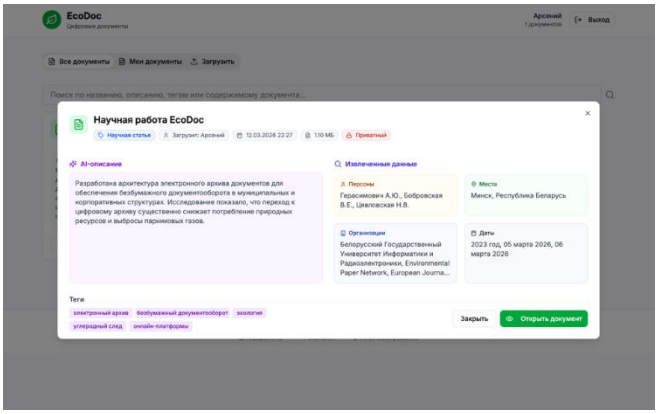


Рисунок 2 – Публичный интерфейс архива

С экологической точки зрения внедрение электронных архивов способствует существенному сокращению потребления исчерпаемых природных ресурсов, в частности древесины и пресной воды, используемых в целлюлозно-бумажной промышленности [3]. Согласно современным исследованиям, среднегодовой расход бумаги одним офисным сотрудником составляет порядка 10000 листов формата А4 [4]. Учитывая, что масса стандартной упаковки (500 листов) равна 2,5 кг, индивидуальное годовое потребление достигает 50 кг. Масштабирование данных показателей демонстрирует, что штат из 1000 сотрудников ежегодно расходует 50 тонн бумаги. В научной литературе отмечается, что для производства одной тонны бумажной продукции требуется переработка древесины приблизительно 24 деревьев [5]. Таким образом, переход 1000 сотрудников на цифровой документооборот обеспечивает ежегодную экономию 50 тонн бумаги, что эквивалентно сохранению около 1200 деревьев, тем самым значительно снижая общую экологическую нагрузку.

Платформа может быть интегрирована в информационную инфраструктуру различных организаций, компаний. Онлайн-архив может использоваться государственными учреждениями, музеями, библиотеками, центрами исследований, а также общественными и коммерческими организациями для хранения материалов в цифровом формате [6].

Заключение. Разработка онлайн-платформы позволяет создать структурированный цифровой архив, обеспечивающий долгосрочное хранение материалов и информации различного формата. Интеграция с искусственным интеллектом делает систему эффективной, оптимизируя анализ содержимого в документе. Информация может быть использована в различных целях для учреждений образования, музеев и других организаций, в сфере образования, науки и искусства. Использование цифровых технологий сокращает потребность в бумажных документах, снижает расход природных ресурсов и уменьшает экологическую нагрузку. Внедрение подобных систем способствует распространению экологически устойчивых методов хранения информации и обеспечивает передачу исторического и культурного наследия будущим поколениям в надежном формате.

Список литературы

1. *Jaillant, L. How can we make born-digital and digitised archives more accessible? Identifying obstacles and solutions / L. Jaillant // Archival Science. 2022. Vol. 22. P. 417–436. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://d-nb.info/1259954617/34. Дата доступа: 05.03.2026.*

2. *Richards, J. D. Digital Preservation and Access / J. D. Richards // European Journal of Archaeology. 2002. Vol. 5, No 3. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/253320283_Digital_Preservation_and_Access. Дата доступа: 05.03.2026.*

3. *Сабенникова, И. В. Личные архивы и их трансформация в эпоху цифровизации / И. В. Сабенникова // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: История России. 2022. № 2. С. 251–257. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://journals.rudn.ru/russian-history/article/view/31142. Дата доступа: 05.03.2026.*

4. *Sandhu, U. Paperless Office: A New Name to Technology / U. Sandhu // International Journal of Management & Business Studies. 2014. Vol. 4, No 2. P. 61–64. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.ijmbs.com/42/ujjal-sandhu.pdf. Дата доступа: 05.03.2026.*

5. *Ali, M. The Economics of Paper Consumption in Offices / M. Ali // Journal of Business Economics and Management. 2019. Vol. 20, No 4. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://journals.vilniustech.lt/index.php/JBEM/article/download/6809/6613. Дата доступа: 05.03.2026.*

6. *Дворецкая, А. П. Электронные архивы: учебно-методическое пособие / А. П. Дворецкая. Красноярск: Гуманитарный институт Сибирского федерального университета, 2019. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/131300. Дата доступа: 06.03.2026.*

UDC 004.65:004.8

DEVELOPMENT OF AN ELECTRONIC ARCHIVE USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES FOR THE TRANSITION TO PAPERLESS INFORMATION STORAGE

A.Y. Herasimovich, V.E Bobrovskaya.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

N.V. Tsyavlovskaya – Senior Lecturer at the Department of Engineering Psychology and Ergonomics, Master of Technical Sciences

Annotation. An online platform for storing and presenting information has been developed, considered as an environmentally sustainable method of digital archiving. The transition from traditional paper archives to digital technologies makes it possible to reduce paper usage and decrease the consumption of natural resources. When uploading documents, the system automatically performs their analysis using artificial intelligence: it extracts text, creates a brief description, and identifies key tags, which significantly simplifies the subsequent search for specific data. The platform combines various types of materials, including historical facts, photographs, statistical data and publications, ensuring their long-term preservation and transmission to future generations.

Keywords. artificial intelligence, digital archive, ecology, sustainable development, digital technologies, historical heritage.

УДК 004.588.2

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ СТИМУЛАМИ В ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРА

Ильясова М.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Прудник А.М. - к.т.н., доцент, доцент кафедры ИПиЭ

Аннотация. В статье рассматривается подход к повышению эффективности человеко-машинных систем за счет внедрения алгоритма адаптивного управления стимулами трудовой деятельности оператора. Предложена система метрик (временных, точностных и интенсивных), формирующих нестационарный временной ряд производительности. Описан алгоритм детекции спадов работоспособности на основе метода «скользящего окна» и экспоненциального сглаживания, обеспечивающий динамическую настройку порогов срабатывания. Представлена логическая матрица выбора управляющих воздействий, позволяющая индивидуализировать стимуляцию и минимизировать эффект сенсорной адаптации.

Ключевые слова: человеко-машинная система, оператор, адаптивное управление, временной ряд, производительность труда, алгоритм детекции аномалий, эргономика

Введение. Эффективность функционирования современных эргатических систем во многом определяется качеством управления контуром «человек-машина». Одной из критических проблем в эксплуатации таких систем является нестабильность функционального состояния оператора, вызванная монотонией или высокой интенсивностью информационного потока. В этих условиях традиционные, статичные методы стимулирования трудовой деятельности оказываются недостаточно эффективными, поскольку они не учитывают динамику индивидуальных показателей работоспособности и эффект привыкания к управляющим воздействиям [1].

Современные исследования в области адаптивной автоматизации и «умного» стимулирования (Incentive Engineering) указывают на необходимость перехода к проактивным моделям управления на основе обратной связи [2]. Ключевой научно-технической задачей здесь является разработка алгоритма, способного в реальном времени идентифицировать фазы снижения производительности и подбирать адекватный тип воздействия. Решение данной задачи требует применения методов анализа временных рядов производительности и психофизиологических показателей оператора, что позволяет прогнозировать негативные тренды в его деятельности [3].

Разработка алгоритма адаптивного управления стимулами на основе анализа временных рядов позволяет реализовать гибкое взаимодействие в системе «человек-компьютер» (Human-Computer Interaction, HCI). Это обеспечивает динамическую коррекцию интенсивности и формы стимуляции, что критически важно для поддержания надежности и отказоустойчивости сложных интеллектуальных систем в условиях длительных рабочих циклов.

Основная часть. Для реализации адаптивного управления необходимо определить вектор параметров, формирующих временной ряд деятельности оператора. В рамках исследования выделены три группы метрик[4]:

1 Временные метрики (T): время реакции на аварийный сигнал, среднее время выполнения единичной технологической операции.

2 Точностные метрики (E): коэффициент совершения ошибок (отношение ошибочных действий к общему числу манипуляций), величина отклонения регулируемого параметра от уставки.

3 Интенсивные метрики (*I*): количество обработанных информационных сигналов в единицу времени.

Интегральный показатель производительности в момент времени *t* можно представить в виде функции:

$$P(t) = w_1 \cdot \bar{T}(t) + w_2 \cdot \bar{E}(t) + w_3 \cdot \bar{I}(t),$$

где w_i – весовые коэффициенты, определяемые спецификой конкретной человеко-машинной системы.

Основой предлагаемой системы является алгоритм, работающий по принципу «скользящего окна» анализа данных. Алгоритм включает следующие этапы:

1 Сбор данных: непрерывная фиксация метрик *P(t)* и формирование временного ряда.

2 Детекция аномалий: сравнение текущего значения *P(t)* со средним значением за предыдущий период (P_{avg}). Если $P(t) < (P_{avg} - \sigma)$, где σ – среднеквадратичное отклонение, система идентифицирует фазу снижения работоспособности.

3 Классификация состояния: анализ тренда (убывающий, пульсирующий, стабильно низкий).

4 Выбор стимула: на основе выявленного состояния система выбирает тип воздействия из базы данных стимулов:

– когнитивный стимул: изменение цветовой схемы интерфейса или подача звукового сигнала;

– геймифицированный стимул: вывод промежуточного рейтинга или достижение «контрольной точки»;

– информационный стимул: актуализация инструкции или подсказка ИИ-ассистента.

5 Оценка отклика: анализ изменения производительности после подачи стимула для корректировки базы правил алгоритма (самообучение).

Для реализации адаптивного управления стимулами деятельность оператора рассматривается как нестационарный временной ряд $\{P_t\}_{t=1}^{N}$. Ключевой задачей алгоритма является сепарация случайных флуктуаций производительности от значимых трендов утомления или потери концентрации.

В работе применяется метод экспоненциального сглаживания для прогнозирования краткосрочных изменений [5]:

$$S_t = \alpha \cdot P_t + (1 - \alpha) \cdot S_{t-1},$$

где S_t – сглаженное значение производительности, а α – коэффициент адаптации ($0 < \alpha < 1$).

Высокое значение α позволяет системе быстро реагировать на резкие сбои (например, пропуск аварийного сигнала), в то время как низкое значение фильтрует случайные кратковременные задержки, не требующие вмешательства.

Адаптивность системы обеспечивается за счет динамического изменения весов стимулов в зависимости от истории откликов конкретного оператора. Предлагаемый алгоритм реализует логику «стимул-реакция» в рамках замкнутого контура:

1 Детекция паттерна: алгоритм выявляет характер снижения показателей (например, «дрейф» – медленное увеличение времени реакции или «провал» – резкий рост количества ошибок).

2 Адаптивное весовое распределение: система хранит массив эффективностей стимулов $E = \{e_1, e_2, ..., e_n\}$. Если на визуальный стимул (мигание интерфейса) оператор перестал реагировать, его вес e_1 понижается, и система выбирает альтернативное воздействие (например, аудиосигнал или изменение сложности задачи).

3 Предотвращение сенсорной адаптации: алгоритм ограничивает частоту подачи однотипных стимулов, чтобы избежать привыкания («замыливания»), что является критически важным для поддержания бдительности в ЧМС [6].

Для верификации удобства использования системы был использован метод System Usability Scale (SUS) [7]. Операторы оценивали интерфейс системы стимулирования по 10

критериям, что позволило выявить «узкие места». Например, чрезмерную агрессивность некоторых визуальных стимулов, вызывающую раздражение и, как следствие, вторичное снижение производительности.

Дополнительно проводился качественный анализ отзывов с использованием контент-анализа. Это позволило сформировать «библиотеку предпочтительных воздействий», где для каждого типа личности оператора (по результатам предварительного тестирования) определен свой набор эффективных стимулов.

На рисунке 1 представлена визуализация работы разработанного алгоритма адаптивного мониторинга. Синяя линия показывает динамику интегрального показателя производительности оператора (P_t), красная пунктирная линия – динамический порог срабатывания. Закрашенные области демонстрируют моменты, когда производительность падает ниже порога, что является триггером для подачи стимулирующего воздействия. Использование скользящего окна позволяет системе адаптироваться к индивидуальным флуктуациям оператора, пересчитывая порог в реальном времени, что наглядно иллюстрирует реализацию принципа адаптивности системы.

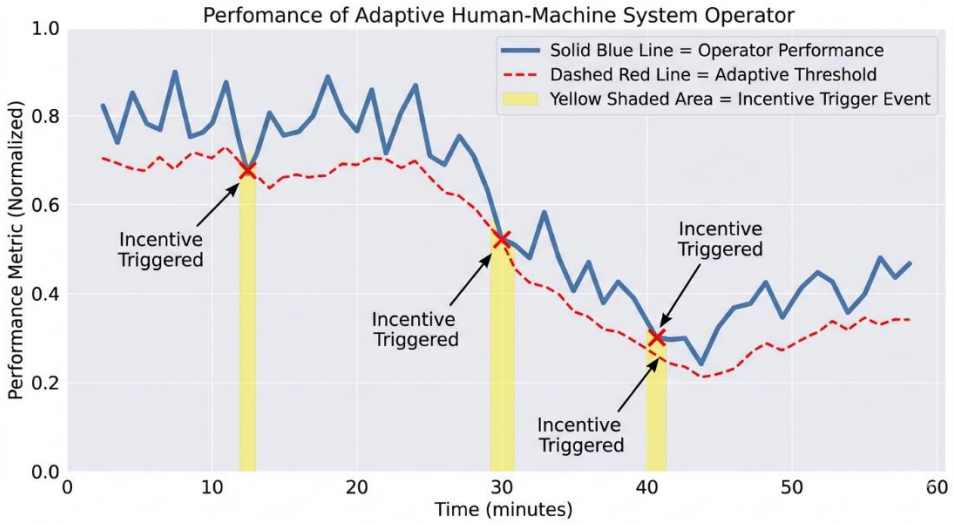


Рисунок 1 – Динамика показателей производительности оператора

Для автоматизации выбора стратегии стимулирования разработана логическая матрица (таблица 1), сопоставляющая характер изменения временного ряда с типом воздействия. Выбор осуществляется на основе анализа двух параметров: глубины спада производительности (ΔP) и градиента его изменения (∇P).

Таблица 1 – Стратегии стимулирования

Характер изменения (Паттерн)	**Вероятное состояние оператора**	**Рекомендуемый тип стимула**
Медленный дрейф вниз	Нарастающее утомление, монотония	Информационный: Смена задачи, ИИ-подсказка
Резкий единичный провал	Потеря концентрации, отвлечение	Когнитивный: Звуковой сигнал, мигание рамки
Пульсирующая динамика	Высокая когнитивная нагрузка, стресс	Геймифицированный: Промежуточный рейтинг

Предложенная классификация позволяет минимизировать риск «информационного шума», подавая стимул только в те моменты, когда он действительно необходим для стабилизации системы. Это обеспечивает высокую адаптивность за счет того, что база правил системы корректируется по результатам анализа отклика оператора на предыдущие воздействия.

Заключение. В ходе проведенного исследования разработаны научно-методические основы построения адаптивной системы стимулирования трудовой деятельности операторов.

На основе анализа временных рядов производительности предложен алгоритм, позволяющий в реальном времени идентифицировать фазы снижения работоспособности и реализовывать персонализированное управляющее воздействие. Благодаря использованию алгоритма обратной связи, управляющие воздействия перестают быть статичными и трансформируются в гибкий инструмент поддержания надежности человеко-машинного взаимодействия.

Практическая ценность предложенных решений заключается в возможности их программной реализации в составе интеллектуальных интерфейсов и тренажерных комплексов. Сочетание количественных метрик производительности с качественным анализом пользовательского опыта (SUS-тестирование) обеспечивает высокую степень персонализации стимулов, что критически важно для предотвращения сенсорной адаптации. Внедрение подобных адаптивных модулей в реальные системы управления позволит существенно повысить эффективность деятельности операторов за счет проактивного купирования рисков, связанных с человеческим фактором.

Список литературы

1. *Zahmat Doost, E. Enhancing Human-Autonomous System Interaction and Team Dynamics in Automated Driving Systems (ADS) / E. Zahmat Doost, J. Gorman // Proceedings of the AAAI Symposium Series. 2025. Vol. 5, No. 1. P. 127–130.*

2. *Zhang, Y. Adaptive Incentive Engineering in Citizen-Centric AI / Y. Zhang, J. Stein [et al.] // Proceedings of the 23rd International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS). 2024. P. 2684–2692..*

3. *Yang, X. J. Toward Quantifying Trust Dynamics: How People Adjust Their Trust After Moment-to-Moment Interaction With Automation / X. J. Yang, C. Schemanske, C. Searle // Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society. 2021. Vol. 65, No. 8. P. 1591–1606.*

4. *Gubskiy, Andrew. Экспертная оценка деятельности операторов эргатических систем / Andrew Gubskiy // Радіоелектроніка, інформатика, управління. 2013. № 1. С. 60–65.*

5. *Лукашин, Ю. П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов / Ю. П. Лукашин. М.: Финансы и статистика, 2003. 416 с.*

6. *Sheridan T., Parasuraman R. (2005) Human-Automation Interaction. Reviews of Human Factors and Ergonomics. 1 (1), 89–129. DOI: 10.1518/155723405783703082.*

7. *Grier R., Bangor A., Kortum P., Peres S. (2013) The System Usability Scale. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting. 57 (1), 187–191.*

UDC 004.588.2

DEVELOPMENT OF AN ADAPTIVE INCENTIVE CONTROL ALGORITHM IN HUMAN-MACHINE SYSTEMS BASED ON OPERATOR PERFORMANCE TIME SERIES ANALYSIS

Ilyasova M.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Prudnik A.M. - Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the Department of EPE

Annotation. The article considers an approach to increasing the efficiency of human-machine systems by implementing an algorithm for adaptive control of operator labor activity incentives. A system of metrics (time, accuracy, and intensity) forming a non-stationary time series of performance is proposed. A performance drop detection algorithm based on the «sliding window» method and exponential smoothing is described, providing dynamic adjustment of trigger thresholds. A logical matrix for choosing control actions is presented, which allows personalizing stimulation and minimizing the effect of sensory adaptation.

Keywords: human-machine system, operator, adaptive control, time series, labor productivity, anomaly detection algorithm, ergonomics

УДК 004.774:374

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ПОДБОРА ТЬЮТОРОВ И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Караваев М.И.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Ильясова М.С. – ассистент кафедры ИПиЭ

Аннотация. Разработано веб-приложение для автоматизации подбора тьюторов и управления учебным процессом на языке программирования *Java* с использованием фреймворка *Spring Boot*. Программа обеспечивает взаимодействие между управляющим платформой, преподавателями и клиентами, включая систему бронирования и аналитическую панель мониторинга деятельности.

Ключевые слова: веб-приложение, автоматизация, Java, Spring Boot, MVC, аналитика данных, эргономика интерфейса.

Введение. В условиях активной трансформации сферы дополнительного образования и роста востребованности услуг по подготовке к экзаменам, поиск квалифицированного тьютора становится сложной задачей, требующей систематизации больших объемов данных. Существующие решения часто страдают от отсутствия гибкости в управлении расписанием или перегруженности интерфейса, что затрудняет взаимодействие между участниками процесса.

Разработанное веб-приложение решает данную проблему, предоставляя единую платформу с автоматизированным управлением временными слотами и прозрачной системой рейтинга. Внедрение информационных технологий в сферу репетиторства позволяет не только упростить запись на занятия, но и снизить влияние человеческого фактора при обработке заявок.

Функционал приложения, включающий администрирование базы преподавателей, фильтрацию услуг и анализ продуктивности тьюторов, направлен на повышение качества сервиса. Программное средство обеспечивает интуитивно понятный доступ к учебным профилям и автоматизирует сбор статистики, что позволяет управляющему платформой принимать обоснованные решения по дальнейшему её развитию.

Основная часть. В основу программного средства заложена многоуровневая архитектура, реализующая паттерн *MVC* (*Model-View-Controller*). Серверная часть реализована на языке *Java* [1]. Для клиентской части использовались языки *HTML*, *CSS*, *JavaScript.* В качестве среды разработки использовались *IntelliJ IDEA* и *VS Code*.

Для управления данными выбрана реляционная СУБД *PostgreSQL* [2]. Спроектированная база данных включает в себя систему взаимосвязанных таблиц для хранения ключевой информации:

– учетных данных и профилей пользователей;

– каталога услуг;

– отзывов.

Система предоставляет широкий спектр функций, которые строго разделены для трех категорий пользователей:

1 Управление платформой (роль управляющего). Пользователь имеет полный доступ к системе, осуществляет выдачу прав новым тьюторам и контролирует их деятельность. Для управляющего реализован блок бизнес-аналитики: формируются динамические графики (например, топ-5 самых продуктивных преподавателей) и круговые диаграммы по категориям услуг, что позволяет анализировать востребованность образовательных направлений.

2 Деятельность тьютора. Преподаватели управляют своим профилем: указывают специализацию, стаж, добавляют описание «о себе». Также тьюторы осуществляют

управление расписанием, самостоятельно выставляя временные слоты (дату и время), доступные для бронирования, и подтверждают либо отклоняют поступающие заявки.

3 Роль клиента. Доступен поиск и фильтрация образовательных услуг по предмету, стоимости, формату (онлайн/оффлайн) и популярности (на основе количества просмотров). Клиент выбирает подходящую услугу и доступный слот для онлайн-записи. После проведения занятия реализована система обратной связи: клиент может написать отзыв и выставить тьютору оценку.

На главной странице (рисунок 1) реализована интуитивно понятная навигационная панель, обеспечивающая быстрый доступ к ключевым разделам системы: базе преподавателей, списку услуг, разделу авторизации пользователя. При проектировании структуры интерфейса учитывались фундаментальные законы инженерной психологии и когнитивной эргономики.

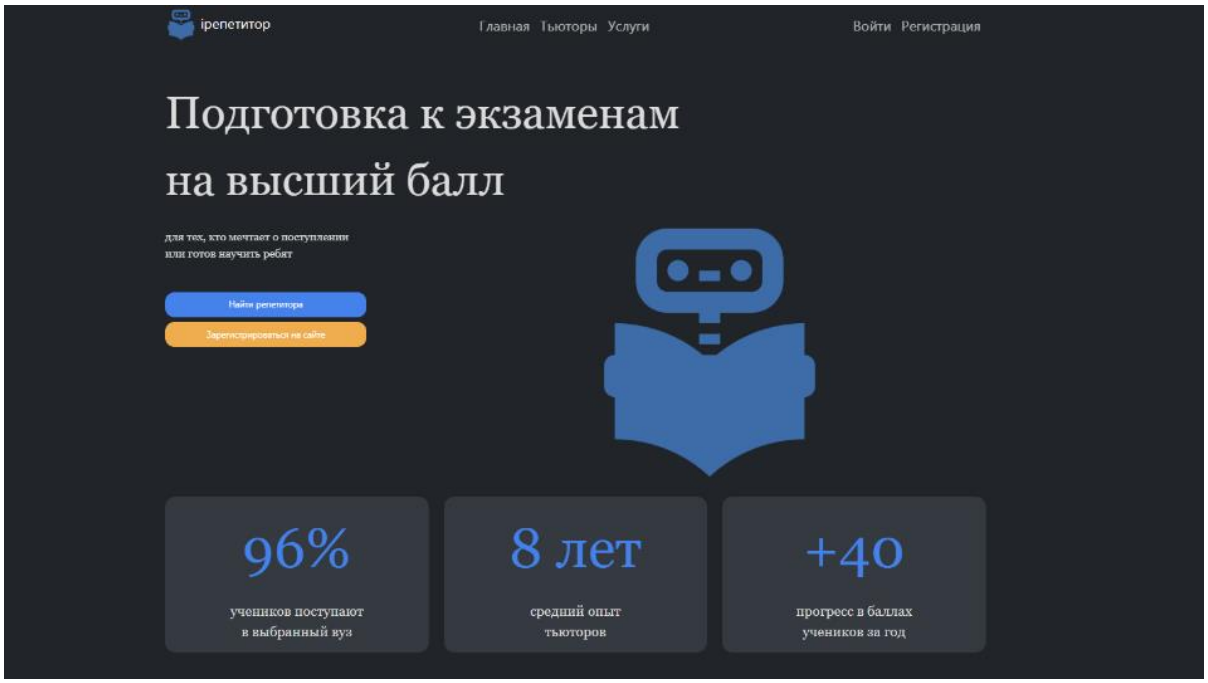


Рисунок 1 – Главная страница веб-приложения

В центральной части расположен приветственный блок с кнопками быстрого перехода («Найти репетитора», «Зарегистрироваться на сайте»). Данное бинарное разделение целевых действий минимизирует время принятия решения пользователем, что напрямую согласуется с законом Хика [3].

Цветовая палитра и визуальная иерархия разработаны с учетом снижения когнитивной нагрузки. Использование темной темы (*Dark Mode*) способствует уменьшению зрительной утомляемости при длительном поиске информации. Доминирующий акцентный синий цвет в психологии визуального восприятия ассоциируется с надежностью и академичностью, способствуя концентрации внимания. В свою очередь, применение контрастного оранжевого цвета для кнопки регистрации эксплуатирует эффект фон Ресторффа (эффект изоляции), естественным образом направляя фокус внимания на целевое действие без дополнительного когнитивного напряжения.

Для предотвращения информационной перегрузки применено паттерн-структурирование: ключевые показатели образовательной платформы сгруппированы в три визуально равноценных блока в нижней части экрана. Такой подход к чанкингу (порционированию) информации коррелирует с правилом Миллера, обеспечивая легкое считывание и запоминание метрик кратковременной памятью.

Адаптивность интерфейса обеспечивает корректное отображение системы в среде *Windows*. Логика системы выстроена так, чтобы переход от поиска услуги до подтверждения бронирования занимал минимальное количество шагов, что соответствует современным эвристикам юзабилити Якоба Нильсена [4].

Для проверки корректности обработки пользовательских сценариев, возникающих при регистрации и записи на услуги, проведено модульное тестирование с помощью библиотеки *JUnit* [5]. Рассмотрены тест-кейсы подтверждения заявок тьютором, автоматического обновления рейтинга после отзыва и точности отображения статистических данных в аналитической панели.

Заключение. Разработанное веб-приложение позволяет автоматизировать процессы управления базой тьюторов, записями на занятия и пользовательскими профилями. Внедрение данной системы позволяет значительно сократить временные затраты на подбор специалиста и повысить эффективность контроля деятельности со стороны управляющего. Использование паттерна *MVC* совместно с выбранным технологическим стеком обеспечило надежную архитектуру, устойчивую к росту объема обрабатываемых данных. Для преподавателей реализованный функционал выступает инструментом гибкого планирования графика, исключающим вероятность накладок в расписании. Таким образом, созданное решение обеспечивает централизованное хранение информации и предоставляет удобные инструменты для анализа продуктивности образовательной площадки. В перспективе целесообразна дальнейшая модернизация проекта путем интеграции подсистем онлайн-оплаты и модулей для проведения дистанционных занятий.

Список литературы

1. *Сравнение Python, JavaScript и Java [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://dzen.ru/a/ZVzpAPjfHF5g2bQw. Дата доступа: 01.03.2026*

2. *Build MVC Applications with Connectivity to PostgreSQL Data [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.cdata.com/kb/tech/postgresql-ado-mvc.rst. Дата доступа: 01.03.2026.*

3. *Яблонски Дж. Законы UX-дизайна / Пер. с англ. – СПб.: БХВ-Петербург, 2022. – 160 с.*

4. *Ergonomics and UX Design Principles [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.nngroup.com/articles/ten-usabilityheuristics/. Дата доступа: 01.03.2026.*

5. *A Guide to Junit 5 [Электронный ресурс]. Режим доступа https://www.baeldung.com/junit-5. Дата доступа: 01.03.2026.*

UDC 004.774:374

WEB APPLICATION FOR TUTOR SELECTION AND ITS ERGONOMIC SUPPORT

Karavaev M.I.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Ilyasova M.S. – assistant of the department of EPE

Annotation. A web application for automating the process of searching and selecting tutors has been developed in the *Java* programming language using the *PostgreSQL* database. The program provides effective interaction between the administrator, teachers and clients, including a time slot booking system and a business analytics block. Special attention is paid to the ergonomics of the interface, ensuring ease of use on devices running the *Windows* operating system.

Keywords: web application, automation, Java, Spring Boot, MVC, data analytics, interface ergonomics.

УДК 004.451.83:614.8.027-047.36

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА УСЛОВИЙ ТРУДА, АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НЕСЧАСТНЫХ СЛУЧАЕВ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

Колесник В. П.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Пилиневич Л. П. – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры ИПиЭ

Аннотация. В работе рассматривается разработка информационной системы мониторинга условий труда, анализа и прогнозирования несчастных случаев на производстве. Система предназначена для сбора, хранения и обработки данных о параметрах производственной среды и соблюдении требований охраны труда. Программное средство позволяет фиксировать нарушения и опасные факторы, регистрировать производственные инциденты, проводить анализ причин происшествий и формировать прогноз вероятности возникновения несчастных случаев. Информационная система реализована на основе клиент-серверной архитектуры. Серверная часть разрабатывается на языке Java с использованием фреймворка Spring Boot. Клиентская часть представляет собой пользовательский интерфейс для ввода, просмотра и анализа данных.

Ключевые слова: условия труда, промышленная безопасность, прогнозирование рисков, Spring Boot, Java, JavaScript, MySql.

Введение. Обеспечение безопасных условий труда является одной из ключевых задач промышленных предприятий, поскольку воздействие опасных и вредных производственных факторов может приводить к несчастным случаям, авариям и профессиональным заболеваниям. Усложнение технологических процессов и рост интенсивности производства требуют повышения точности контроля состояния рабочей среды и соблюдения требований охраны труда. Для снижения уровня производственного риска необходимы системный мониторинг рабочих мест, своевременная фиксация отклонений от нормативных показателей и анализ причин возникновения происшествий.

Применение информационных систем позволяет структурировать сведения о воздействии вредных факторов, обеспечивать их накопление и использовать результаты обработки для оценки текущего уровня риска. Это способствует повышению эффективности планирования профилактических мероприятий и рациональному распределению ресурсов, направленных на обеспечение безопасных условий труда.

Рациональным подходом к решению данной задачи является применение специализированных информационных систем мониторинга условий труда. Использование подобных программных средств обеспечивает централизованный сбор, хранение и обработку информации о состоянии производственной среды, автоматизацию учета инцидентов и опасных факторов, а также повышение объективности оценки уровня промышленной безопасности.

Основная часть. Разработанная информационная система мониторинга условий труда построена на основе клиент-серверной архитектуры, при которой клиентская и серверная части функционируют независимо и взаимодействуют посредством сетевых запросов. Такой подход обеспечивает гибкость разработки, возможность масштабирования программного средства и упрощает дальнейшее расширение его функциональных возможностей.

Клиентская часть системы реализована с использованием языка JavaScript, который применяется для создания интерактивных пользовательских интерфейсов, обработки событий и динамического обновления содержимого программных страниц [1]. Использование браузерного доступа позволяет осуществлять ввод, просмотр и анализ данных без установки дополнительного программного обеспечения. Интерфейс обеспечивает регистрацию параметров условий труда, фиксацию инцидентов и работу с аналитической информацией.

Серверная часть информационной системы разработана на языке программирования Java, обеспечивающем платформенную независимость, объектно-ориентированную модель разработки и поддержку многопоточной обработки запросов [2]. Для упрощения разработки серверной логики и организации взаимодействия компонентов используется фреймворк Spring Boot, позволяющий создавать автономные приложения с встроенным сервером и минимальной конфигурацией [4]. Обмен данными между клиентом и сервером осуществляется в формате JSON. Для хранения информации применяется система управления базами данных MySQL, поддерживающая структурированные запросы, транзакционную обработку данных и механизмы обеспечения целостности информации [3], что позволяет надежно сохранять сведения о состоянии рабочих мест, выявленных нарушениях требований охраны труда и зарегистрированных несчастных случаях. На рисунке 1 представлена структурная схема разработанной системы.

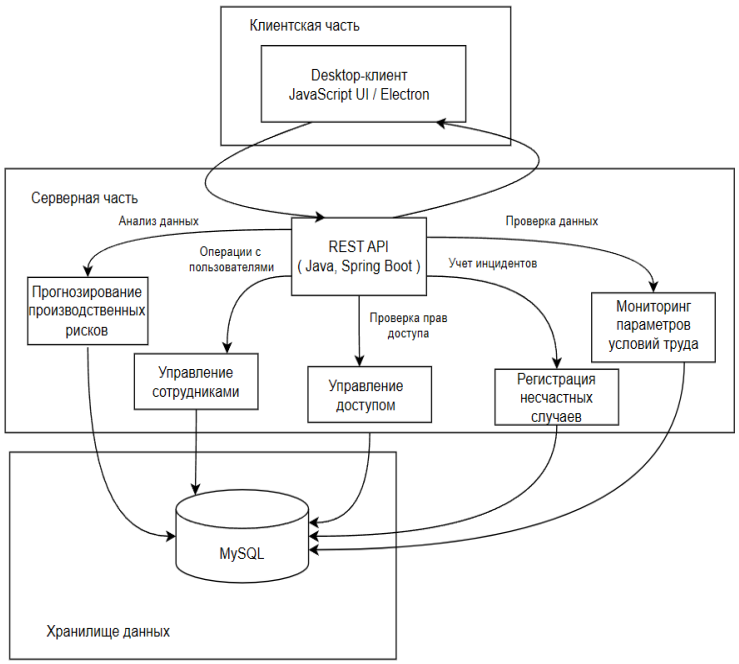


Рисунок 1 – Структурная схема информационной системы мониторинга условий труда, анализа и прогнозирования несчастных случаев на производстве

Функциональная структура разработанной информационной системы включает ряд взаимосвязанных модулей, обеспечивающих комплексное решение задач мониторинга условий труда и анализа производственных рисков. Первый модуль системы предназначен для ведения сведений о сотрудниках и рабочих местах. Пользователь может просматривать перечень работников предприятия, получать подробную информацию о каждом сотруднике, а также добавлять и редактировать соответствующие записи. Для каждого работника предусматривается хранение данных о выявленных опасных факторах производственной среды и зарегистрированных несчастных случаях.

Следующий модуль ориентирован на учет инцидентов и потенциально опасных ситуаций. Система позволяет фиксировать факты возникновения несчастных случаев, регистрировать отклонения параметров условий труда от установленных норм и анализировать динамику происшествий. Централизованное накопление информации обеспечивает возможность выявления причин возникновения аварийных ситуаций и формирования обоснованных выводов о состоянии промышленной безопасности на предприятии.

Отдельное функциональное направление связано с анализом факторов риска и разработкой профилактических мероприятий. В рамках данного модуля пользователь может фиксировать результаты проведенных проверок, планировать мероприятия по улучшению условий труда и контролировать их выполнение. Кроме того, система обеспечивает

формирование отчетных документов и аналитических материалов, необходимых для оценки уровня производственного риска.

Важным элементом программного средства является информационная панель, отображающая ключевые показатели состояния условий труда и статистику происшествий. На дашборде могут представляться сведения о распределении инцидентов по подразделениям, динамике изменения уровня риска и других характеристиках, позволяющих оценить эффективность мероприятий по обеспечению промышленной безопасности. Визуализация данных упрощает их восприятие и способствует более оперативному принятию управленческих решений.

Заключение. Разработанная информационная система мониторинга условий труда, анализа и прогнозирования несчастных случаев на производстве обеспечивает автоматизированный сбор, хранение и обработку данных о параметрах производственной среды, инцидентах и опасных факторах. Применение разработанного программного средства позволяет повысить эффективность контроля состояния условий труда, улучшить качество анализа причин производственного травматизма и обеспечить информационную поддержку принятия управленческих решений в области промышленной безопасности. Использование клиент-серверной архитектуры и современных технологий разработки обеспечивает надежность функционирования системы, возможность ее масштабирования и дальнейшего развития.

Список литературы

1. *JavaScript Guide [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript/Guide. Дата доступа: 06.03.2026.*

2. *Java Documentation [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://docs.oracle.com/en/java/. Дата доступа: 05.03.2026.*

3. *MySQL Documentation [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://dev.mysql.com/doc/. Дата доступа: 06.03.2026.*

4. *Spring Boot Documentation [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://docs.spring.io/spring-boot/index.html. Дата доступа: 05.03.2026.*

INFORMATION SYSTEM FOR WORKING CONDITIONS MONITORING, ANALYSIS AND PREDICTION OF OCCUPATIONAL ACCIDENTS

Kolesnik V.P.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Pilinevich L. P. – Dr. of Sci., Professor of the Department of EPE

Annotation. This paper presents the design and development of an information system intended for monitoring working conditions, analyzing occupational safety data, and predicting workplace accidents in industrial environments. The system is designed to collect, store, and process data related to production environment parameters and compliance with occupational health and safety regulations. The proposed software solution enables the identification and recording of hazardous factors and safety violations, registration of industrial incidents, analysis of accident causes, and forecasting of the probability of future incidents. The information system is implemented using a client–server architecture. The server-side component is developed in Java using the Spring Boot framework, providing scalable business logic processing and efficient interaction with the data storage layer. The client side is implemented as a user interface for data entry, visualization, and analytical processing, supporting effective monitoring of workplace safety conditions and informed managerial decision-making.

Keywords: working conditions monitoring, industrial safety, risk prediction, Spring Boot, Java, JavaScript, MySQL.

УДК 004.42:004.774

СИСТЕМА ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ОПОВЕЩЕНИЯ ПЕРСОНАЛА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАБОТ НА ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ОБЪЕКТЕ

Костюкевич М.Н.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Егоров В.В.. – ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. Разработана система для оперативного оповещения и координации персонала при проведении работ на производственном объекте с использованием технологии геозон. Мобильное приложение на платформе *Android* фиксирует пересечение границ заданных областей и передаёт данные на сервер для рассылки уведомлений десктопным клиентам диспетчерской службы. Решение обеспечивает работу в офлайн-режиме с последующей синхронизацией данных.

Ключевые слова: система оповещения, геозоны, мобильное приложение, *SignalR*, уведомления в реальном времени, *Android*, *ASP.NET Core*, *PostgreSQL*.

Введение. В современных условиях обеспечения промышленной безопасности на производственных объектах возникает необходимость оперативного отслеживания перемещения персонала с фиксацией пересечения границ контролируемых зон [1]. Существующие системы видеонаблюдения и контроля доступа не позволяют автоматически детектировать события входа и выхода сотрудников из заданных областей и своевременно уведомлять ответственных лиц о произошедших изменениях. Разработка системы на основе технологии геозон позволяет автоматизировать процесс регистрации событий и снизить время реакции на потенциальные нарушения режима доступа, что соответствует требованиям к информационным системам обеспечения промышленной безопасности.

Основная часть. Целью данного исследования является разработка архитектуры системы для оперативного оповещения и координации персонала при проведении работ на производственном объекте с оповещением диспетчера в реальном времени для повышения эффективности контроля перемещения сотрудников на территории объекта.

Для достижения цели использованы следующие технологии: мобильная платформа Android с Geofencing API для детектирования пересечения границ зон [2], язык программирования Kotlin для разработки клиентской части [3], серверная часть на ASP.NET Core для обработки запросов и бизнес-логики [4], язык программирования C# для реализации серверной логики [5], база данных PostgreSQL для хранения событий и справочной информации, локальное хранилище Room для кэширования данных на мобильном устройстве, технология SignalR для передачи уведомлений подключённым клиентам без задержек [6].

Исследование проводилось в несколько этапов: анализ предметной области и существующих решений в сфере контроля персонала на производственных объектах, проектирование архитектуры взаимодействия компонентов системы, разработка алгоритма обработки событий с учётом офлайн-режима работы мобильного приложения, тестирование сценариев работы системы при различных условиях сетевого подключения на территории производственного объекта.

В результате получена работающая архитектура системы, которая фиксирует пересечение геозон мобильным приложением и передаёт данные на сервер для дальнейшей рассылки подключённым десктопным клиентам диспетчерской службы.

Как показано на рисунке 1, архитектура системы включает три основных компонента: мобильное приложение, сервер и десктоп диспетчера. Мобильное устройство через Geofencing API детектирует вход или выход сотрудника из заданной области. При наличии сетевого подключения данные отправляются через HTTP Client на REST API сервера. При отсутствии сети событие сохраняется локально в Room DB и передаётся после восстановления соединения.

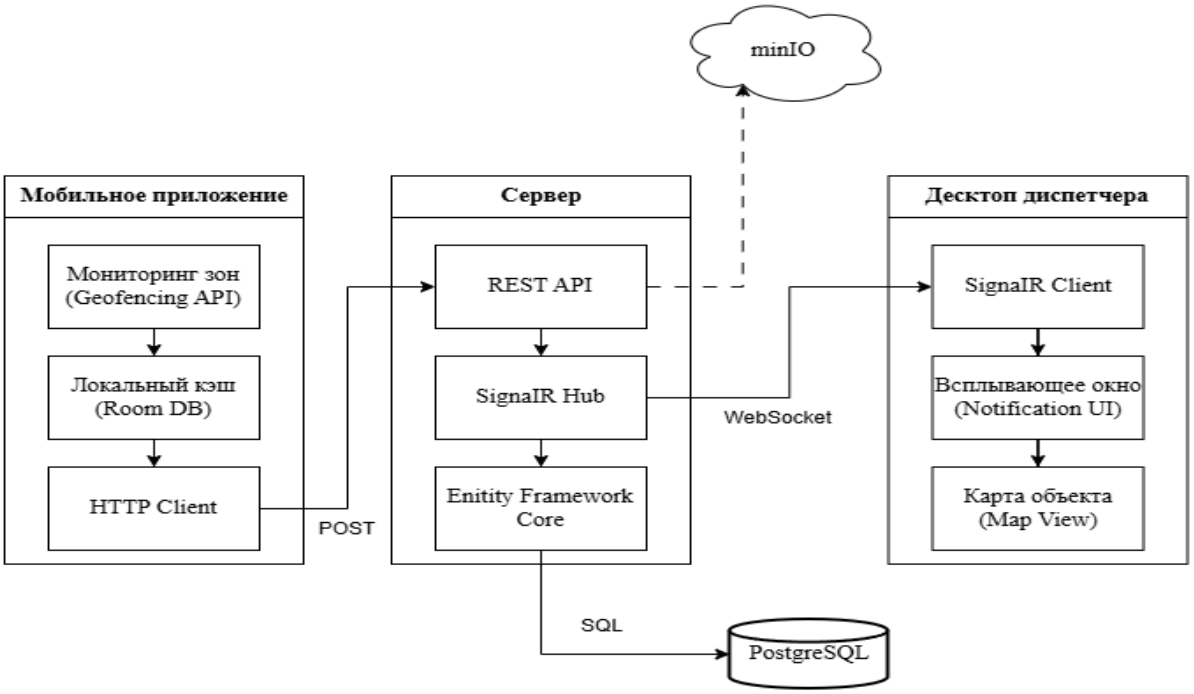


Рисунок 1 – Архитектура взаимодействия мобильного приложения и десктопного клиента

На рисунке 2 представлен алгоритм обработки событий. Клиентское приложение формирует событие и проверяет подключение к сети. При положительном результате данные отправляются на сервер, где проходят валидацию и сохраняются в базу данных. Далее через SignalR Hub уведомление рассылается всем подключённым десктопным клиентам.

Из представленного алгоритма видно, что система предусматривает работу в офлайн-режиме с последующей синхронизацией данных. Это обеспечивает надёжность фиксации событий даже при нестабильном сетевом подключении на территории производственного объекта.

Обработав результаты тестирования различных сценариев работы системы, можно отметить, что архитектура обеспечивает доставку уведомлений в течение 1-2 секунд после регистрации события на мобильном устройстве.

Интерпретация полученных результатов осуществлялась на основе анализа времени доставки сообщений, процента успешных отправок при различных условиях сети и корректности отображения данных на стороне десктопного клиента диспетчера.

По всем представленным данным можно сделать вывод, что разработанная архитектура позволяет обеспечить мониторинг перемещения сотрудников с минимальной задержкой доставки уведомлений и высокой надёжностью фиксации событий.

Итак, обобщая данные по тестированию системы, можно отметить, что решение соответствует требованиям к системам мониторинга персонала на промышленных объектах в рамках направления специальности «Информационные системы и технологии (в обеспечении промышленной безопасности)».

На диаграмме архитектуры таким образом можно наблюдать чёткое разделение ответственности между клиентскими приложениями и серверной частью, что обеспечивает масштабируемость решения при увеличении количества пользователей.

Из представленного материала можно сделать общий вывод о том, что использование технологии SignalR для передачи уведомлений в реальном времени является эффективным решением для задач оперативного оповещения диспетчерского персонала на производственных объектах.

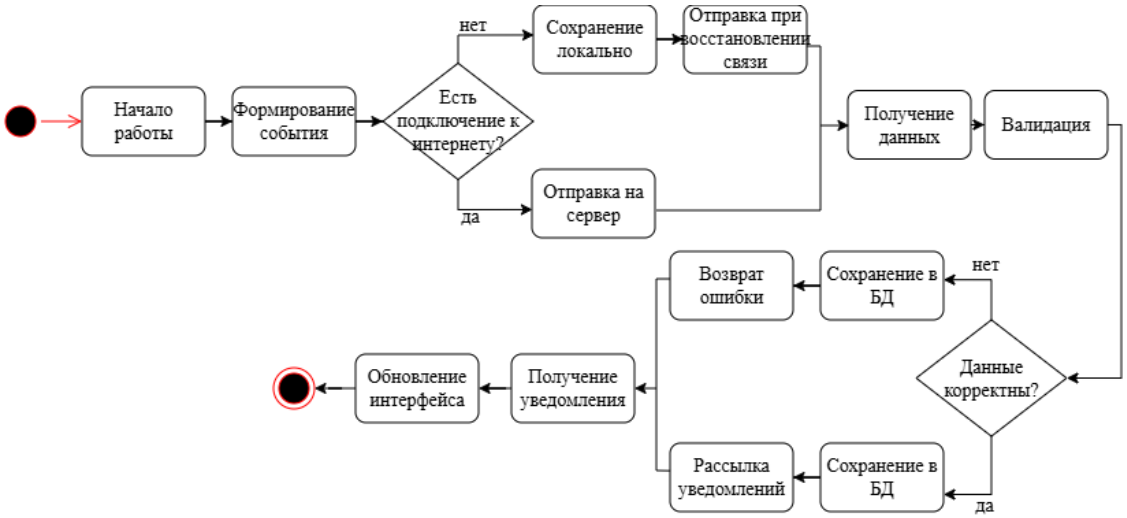


Рисунок 2 – Алгоритм регистрации и авторизации пользователя

Заключение. Разработана архитектура системы для оперативного оповещения и координации персонала при проведении работ на производственном объекте с оповещением в реальном времени. Система позволяет автоматически фиксировать пересечение границ зон и оперативно уведомлять диспетчера через десктопное приложение. Использование технологии SignalR обеспечивает доставку уведомлений без задержек. Для дальнейшей реализации планируется разработка полнофункционального прототипа и проведение нагрузочного тестирования для определения максимального количества подключённых клиентов.

Список литературы

1. *Информационные системы и технологии в обеспечении промышленной безопасности / под ред. Т.В. Казак – Минск: БГУИР, 2020. – 256 с. 03.03.2026.*

2. *Документация Android Geofencing API [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://developer.android.com/training/location/geofencing. – Дата доступа: 03.03.2026.*

3. *Васильев А. Программирование на Kotlin для Android. – СПб.: Питер, 2021. – 384 с.*

4. *Троелсен Э., Джэпикс Ф. Язык программирования C# 10 и платформа .NET 6. – М.: Вильямс, 2022. – 1312 с.*

5. *Документация Microsoft ASP.NET Core [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://learn.microsoft.com/ru-ru/aspnet/core. – Дата доступа: 01.03.2026.*

6. *Документация Microsoft SignalR [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://learn.microsoft.com/ru-ru/aspnet/core/signalr. – Дата доступа: 01.03.2026.*

UDC 004.42:004.774

SYSTEM FOR OPERATIONAL NOTIFICATION OF PERSONELL DURING WORK AT AN INDUSTRIAL FACILITY

Kostsiukevich M. N.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Egorov V.V. – Senior Lecturer at the Department of EPE

Annotation. A system for operational notification and coordination of personnel during work at an industrial facility using geofencing technology has been developed. A mobile application for the Android platform records crossing of boundaries of specified areas and transmits data to the server for distribution to desktop clients of the dispatcher service. The solution ensures offline mode operation with subsequent data synchronization.

Keywords: notification system, geofences, mobile application, SignalR, real-time notifications, Android, ASP.NET Core, PostgreSQL.

УДК 37.016-047.37

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСВОЕНИЯ ОБУЧАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Ковалева К.В., Сикаченко Л.М.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Карпович Е.Б. – ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. Исследовано влияние способов совмещения аудио- и видеоряда на восприятие и запоминание учебных материалов. Опираясь на теорию мультимедийного обучения, экспериментально проверена гипотеза об улучшении запоминания материала при сопровождении аудио материала синхронным текстом с помощью ключевых терминов. Экспериментально установлено, что представляемый таким образом контент обеспечивает достаточный уровень усвоения информации, независимо от внешних условий просмотра, которые влияют лишь на субъективный комфорт учащихся.

Ключевые слова: когнитивная нагрузка, принцип модальности, принцип избыточности, принцип временной близости, дублирование, дополнение, несовместимость.

Введение. Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью поиска эффективных способов совмещения аудио- и видеоряда в обучающих материалах. Понимание механизмов мультимодальной интеграции позволяет проектировать более результативные образовательные ресурсы, учебные видео и презентации. Объектом данного исследования является процесс восприятия мультимедийной информации учащимися на базе выборки обучающихся в БГУИР на различных факультетах. Предмет исследования – точность усвоения информации в зависимости от способа совмещения аудиального и визуального рядов и оценка когнитивной нагрузки в этих условиях.

Основная часть. Опираясь на когнитивную теорию мультимедийного обучения Ричарда Майера, можно выделить три ключевых принципа, подходящих для анализа любого контента:

1 Принцип модальности: информация лучше усваивается, когда визуальный ряд, графика, схемы сопровождается аудио-объяснением, а не просто текстом на экране.

2 Принцип избыточности: одновременное предъявление одного и того же текста визуально и на слух может перегружать когнитивные каналы.

3 Принцип временной близости: синхронизация изображения и звука критически важна для построения целостной ментальной модели [1].

Восприятие обучающих материалов рассматривается как процесс, состоящий из нескольких этапов. В начале происходит формирование базовых кодов, которое характеризуется преобладанием одного типа восприятия. На этом этапе закладывается основа для последующей передачи сигналов, а затем мультимодальная интеграция или наложение кодов. Происходит совмещение новой информации с уже существующими образами. В зависимости от синхронизации информации и образов, это может привести либо к дополнению знаний, либо к когнитивному конфликту. Следующий этап – фиксирование ключевых моментов. И последний этап, который влияет на восприятие, это адаптация к внешним условиям. К внешним условиям восприятия, напрямую влияющим на уровень когнитивной нагрузки, можно отнести место (дом, учебная аудитория и т. д.) [2].

Исходя из рассмотренных теоретических положений, наиболее эффективным способом усвоения информации является дублирование ключевых понятий через разные каналы восприятия, что служит когнитивным якорем для памяти.

Таким образом, сформулированы гипотезы исследования: в коротких (до 5 минут) обучающих роликах для взрослой аудитории дополнение ключевых терминов на экране в виде текстовых вставок одновременно с их аудиовоспроизведением приводит к лучшему усвоению, чем их представление только в аудиоформате, несмотря на принцип избыточности; когнитивная нагрузка в незначительной степени влияет на результаты усвоения информации.

Определены зависимая и независимые переменные. Независимая переменная – способ

совмещения аудио и видео: дублирование, дополнение, несовместимость. К дублированию относится полное подкрепление аудио текстом на экране. Дополнение – видеоряд частично повторяет аудио, демонстрирует только ключевые фразы. Несовместимость – видео и аудио в рамках одной темы не пересекаются по ключевым фразам и объяснениям. Также к независимым переменным можно отнести уровень оценки собственной когнитивной нагрузки, который, в свою очередь, зависит от условий просмотра. Данный показатель оценивался по балльной шкале самооценки когнитивной нагрузки для последующего изучения влияния на усвоение информации. Зависимой переменной является точность усвоения информации, которая оценивалась по критерию «точность воспроизведения изученного материала», а именно процентом правильных ответов во втором блоке опросника.

С целью регистрации данных эксперимента составлен опросник из пяти блоков. Первые два блока – это тесты на анализ уровня знаний по теме видео до просмотра и после, включающие открытые вопросы и закрытые вопросы, шкалы Лайкерта и номинальную шкалу [3]. Третий блок – это самооценка когнитивной нагрузки, который в основном включает ранговый метод шкалирования. Четвертый блок фиксирует демографические характеристики и контекст просмотра. В пятом блоке использован существующий опросник, основанный на методике VARK, разработанной Нилом Флемингом, для определения преобладающего канала восприятия [4].

Определение разницы между начальным уровнем знаний и уровнем знаний после просмотра для каждой группы опрашиваемых позволяет оценить взаимосвязь между способом совмещения аудио- и видеоряда и усвоением информации. По результатам опроса процент усвоения материала при несовместимости видео и аудио составил 17,29%, тогда как в группе с полным дублированием усвоение достигло 27,61%. А наиболее высокий результат был зафиксирован при использовании принципа дополнения: разница уровня знания составила 31,55% (рисунок 1).

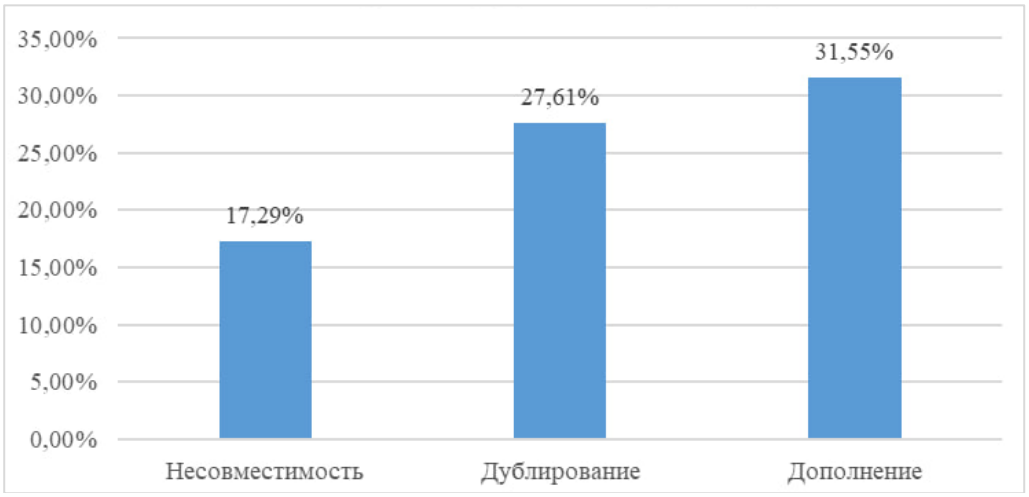


Рисунок 1 – Уровень усвоения информации в зависимости от способа совмещения аудио- и видеоряда

Результаты исследования влияния внешних условий на субъективную когнитивную нагрузку и итоговое усвоение материала показали: наименьшая нагрузка зафиксирована при просмотре в домашних условиях, а также в общежитии, наибольшая нагрузка отмечена при просмотре в аудитории. Таким образом, использование устройства в комфортной обстановке снижает субъективную нагрузку на 37–62% по сравнению с просмотром в учебной аудитории.

Важно отметить определяющее значение способа презентации учебного материала: приращение знаний оставалось стабильным для всех условий просмотра, даже в тех случаях, когда студенты испытывали высокую нагрузку. Средний показатель когнитивной нагрузки в выборке составил 5,1 балла из 9, что соответствует умеренному уровню.

Для подтверждения предположения, что уровень когнитивной нагрузки незначительно влияет на уровень усвоения информации, для выявления характера связи между нагрузкой и приращением знаний был проведен регрессионный анализ. Было получено уравнение

регрессии: y = –0,0272x + 5,9071. Оно демонстрирует слабую отрицательную тенденцию: увеличение нагрузки на 1 балл сопровождается снижением прироста знаний всего на 0,027 процентного пункта. Коэффициент детерминации составил $R^2 = 0,0173$ (1,73%) и показывает, что лишь 1,7% вариации прироста знаний объясняется изменением уровня когнитивной нагрузки, тогда как остальные 98,3% обусловлены иными факторами. Данный результат свидетельствует о том, что учащиеся легко адаптируются к условиям усвоения информации и точность усвоения обеспечивается прежде всего синхронизацией аудиовизуальных компонентов и верным структурированием материала.

Заключение. В результате исследования подтверждены выдвинутые гипотезы: использование принципа дополнения обеспечивает наиболее эффективное усвоение обучающих материалов; когнитивная нагрузка в незначительной степени влияет на результаты усвоения информации.

Ключевые термины, появляющиеся на экране синхронно с их аудиопроизношением, способствуют лучшему закреплению в памяти без эффекта избыточности. Научно обоснованный способ презентации учебного материала обеспечивает стабильное усвоение материала (приращение знаний на 33–34%) независимо от уровня когнитивной нагрузки. Условия просмотра влияют преимущественно на субъективный комфорт, но не на конечный результат обучения. Тем не менее, создание комфортной образовательной среды позволяет минимизировать когнитивную нагрузку и сделать процесс обучения более приятным. При этом именно качество контента остается ключевым фактором успешного усвоения информации.

Список литературы

1. *Майер, Р. Когнитивная теория мультимедийного обучения / Р. Майер. – М. : Эксмо, 2019.*
2. *Теория когнитивной нагрузки: почему в обучении «больше» не значит «лучше» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://skillbox.ru/media/education/teoriya-kognitivnoy-nagruzki-pochemu-v-obuchenii-bolshe-ne-znachit-luchshe/ – Дата доступа: 06.03.2026.*
3. *Скворцова, Е. В. Измерение и шкалирование в маркетинговых исследованиях / Е. В. Скворцова. – Минск : БГУ, 2020.*
4. *Опросник VARK (Опросник по стратегиям обучения) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://vark-learn.com/wp-content/uploads/2014/08/The-VARK-Questionnaire-Russian.pdf– Дата доступа: 04.03.2026.*

UDC 37.016-047.37

STUDY OF CONDITIONS FOR THE EFFECTIVE MASTERY OF LEARNING MATERIALS

Kovaleva K.V., Sikachenko L.M.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Karpovich E.B., Senior Lecturer, Department of EPE

Annotation. The article presents a study on how different methods of combining audio and video affect learning efficiency. Based on the theory of multimedia learning, an experiment was conducted to test the hypothesis that supplementing audio with synchronized text highlighting key terms enhances material retention. The experimental results showed that well-designed content ensures a consistent increase in knowledge regardless of external viewing conditions, which influence only the learners' subjective comfort.

Keywords: cognitive load, modality principle, redundancy principle, temporal contiguity principle, duplication, complementarity, incompatibility.

УДК 004.774:331.45

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ПО УПРАВЛЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ТРУДОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Куканьков Е.Д.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Телеш И.А. – к.г.н, доцент, доцент кафедры ИПиЭ

Аннотация. Разработано веб-приложение для автоматизации процессов управления безопасностью трудовой деятельности на промышленных предприятиях. Веб-приложение реализовано с использованием клиент-серверной архитектуры. Серверная часть разработана на языке Python с применением фреймворка FastAPI, клиентская часть реализована на JavaScript, а для хранения данных используется система управления базами данных PostgreSQL.

Ключевые слова: веб-приложение, промышленная безопасность, управление персоналом, FastAPI, Python, PostgreSQL, JavaScript.

Введение. Обеспечение безопасности труда является ключевой задачей для предотвращения производственного травматизма, профессиональных заболеваний и включает контроль соблюдения требований и правил техники безопасности, обучение персонала, снижение рисков и внедрение превентивных мер на промышленных предприятий.

На рабочих местах мониторинг безопасности на предприятии осуществляется посредством использования разрозненных документов или локальных программных решений, что в свою очередь усложняет контроль выполнения корректирующих мероприятий о состоянии безопасности на предприятии.

В связи с этим одним из актуальных решений является разработка информационной системы для автоматизации учета сотрудников, регистрации нарушений техники безопасности и анализа статистических данных, связанных с производственным травматизмом на предприятии.

Основная часть. Разработанное веб-приложение построено на основе клиент-серверной архитектуры, при которой клиентская и серверная части функционируют независимо друг от друга и взаимодействуют посредством сетевых запросов. Такой подход позволяет обеспечить гибкость разработки, масштабируемость системы и удобство дальнейшей модификации функционала. Кроме того, разделение клиентской и серверной логики способствует повышению безопасности системы и облегчает процесс сопровождения программного обеспечения в процессе эксплуатации.

Дополнительным преимуществом данной архитектуры является возможность независимого обновления компонентов системы. Это означает, что изменения в серверной части могут быть реализованы без необходимости модификации клиентского приложения, что существенно упрощает сопровождение и развитие программного продукта.

Клиент-серверная архитектура является одной из наиболее распространенных моделей построения современных веб-приложений. В рамках данной архитектуры клиентская часть отвечает за отображение интерфейса пользователя и обработку пользовательских действий, тогда как серверная часть выполняет обработку запросов, реализацию бизнес-логики и взаимодействие с базой данных. Такое разделение функций позволяет повысить надежность работы системы и облегчает процесс масштабирования при увеличении количества пользователей.

Клиентская часть веб-приложения реализована с использованием языка *JavaScript* и предназначена для взаимодействия пользователя с системой через веб-интерфейс. Пользователь может работать с веб-приложением через стандартный веб-браузер без необходимости установки дополнительного программного обеспечения. Интерфейс

предоставляет средства для просмотра информации, добавления новых записей и редактирования существующих данных. Язык *JavaScript* широко применяется при разработке веб-интерфейсов и обеспечивает интерактивность и динамическое обновление содержимого страниц [1].

Серверная часть веб-приложения разработана на языке программирования *Python* с использованием веб-фреймворка *FastAPI*, предназначенного для создания высокопроизводительных *API*-сервисов [2]. Данный фреймворк позволяет эффективно обрабатывать *HTTP*-запросы и упрощает разработку серверной логики веб-приложения.

Взаимодействие между клиентом и сервером осуществляется с использованием формата *JSON*, который широко применяется при разработке веб-сервисов благодаря своей простоте и удобству обработки.

В качестве системы управления базами данных используется *PostgreSQL*, которая обеспечивает надежное хранение информации и поддержку сложных операций обработки данных [3]. В базе данных хранится информация о сотрудниках предприятия, зарегистрированных нарушениях, производственных инцидентах и принятых корректирующих мерах. Структура базы данных спроектирована таким образом, чтобы обеспечить целостность и согласованность хранимой информации. Использование реляционной модели данных позволяет эффективно выполнять выборки, формировать отчеты и анализировать статистические показатели, связанные с состоянием охраны труда.

На рисунке 1 представлена структурная схема веб-приложения по управлению безопасностью трудовой деятельности на предприятии.

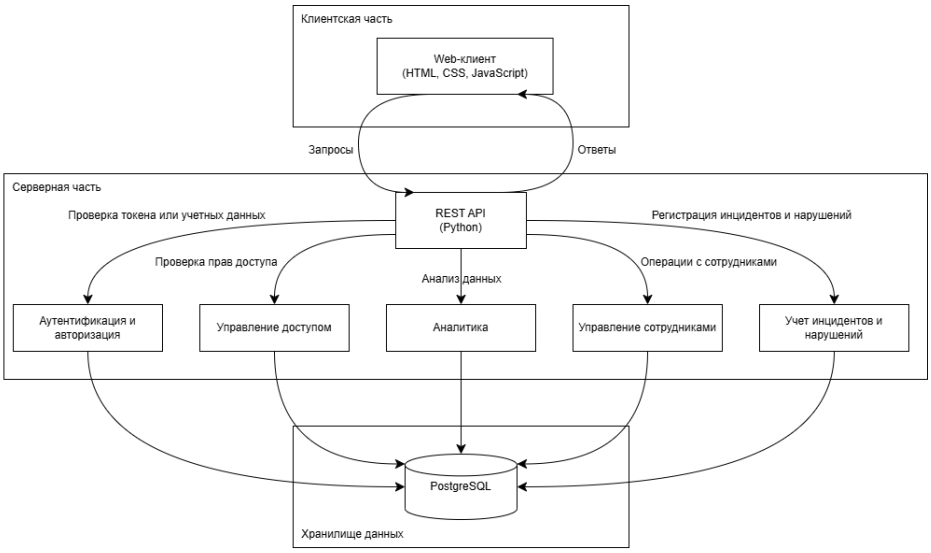


Рисунок 1 – Структурная схема веб-приложения по управлению безопасностью трудовой деятельности на предприятии

Функциональные возможности разработанного веб-приложения включают несколько основных модулей. Первый модуль разработанного веб-приложения предназначен для работы с информацией о сотрудниках. Система позволяет просматривать список работников предприятия, получать подробную информацию о каждом сотруднике, а также редактировать или добавлять новые записи. Для каждого сотрудника может храниться информация о зафиксированных нарушениях техники безопасности.

Второй модуль разработанного веб-приложения связан с учетом нарушений и производственным травматизмом. Пользователь системы может регистрировать новые случаи нарушения правил безопасности, редактировать существующие записи и просматривать историю событий. Наличие централизованной базы данных позволяет формировать полную картину происходящих на предприятии событий и анализировать причины возникновения травматизма. Это дает возможность выявлять наиболее распространенные типы нарушений и определять подразделения предприятия, где уровень риска наиболее высок. На основе

полученных данных руководство предприятия может разрабатывать дополнительные профилактические мероприятия, направленные на повышение уровня безопасности труда.

Отдельный раздел разработанного веб-приложения посвящен корректирующим мерам, которые применяются в ответ на выявленные нарушения техники безопасности. В рамках данного функционала можно фиксировать меры дисциплинарного или организационного характера, направленные на предотвращение повторения подобных ситуаций. Кроме того, система позволяет автоматически формировать документы, например приказ о выдаче нарушения, который может быть подготовлен для последующей печати.

Еще одной важной частью веб-приложения является информационная панель, на которой отображаются основные статистические показатели. На дашборде могут отображаться данные о количестве нарушений, распределении инцидентов по категориям и другие показатели, позволяющие оценить текущее состояние безопасности труда на предприятии. Визуализация информации облегчает анализ данных и помогает быстрому принятию управленческих решений. Использование графиков, диаграмм и сводных показателей позволяет пользователям системы быстро оценивать текущую ситуацию и отслеживать динамику изменений показателей безопасности труда.

Использование языка *Python* для серверной части обеспечивает гибкость разработки и широкие возможности интеграции с другими программными компонентами [4].

Заключение. Разработано веб-приложение для управления безопасностью трудовой деятельности на промышленных предприятиях. Система позволяет вести учет сотрудников, фиксировать нарушения техники безопасности, регистрировать случаи производственного травматизма и контролировать выполнение корректирующих мероприятий.

Серверная часть веб-приложения реализована на языке программирования Python с использованием веб-фреймворка *FastAPI*, который обеспечивает высокую производительность и удобство разработки *API*-сервисов. Клиентская часть разработана на языке *JavaScript* и обеспечивает интерактивное взаимодействие пользователя с системой через веб-интерфейс. Для хранения и обработки данных используется система управления базами данных *PostgreSQL*, обеспечивающая надежность хранения информации и поддержку сложных запросов.

Список литературы

1. *JavaScript Guide [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript/Guide. Дата доступа: 06.03.2026.*

2. *FastAPI Documentation [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://fastapi.tiangolo.com/. Дата доступа: 05.03.2026.*

3. *PostgreSQL Documentation [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.postgresql.org/docs/. Дата доступа: 06.03.2026.*

4. *Python Documentation [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://docs.python.org/. Дата доступа: 05.03.2026.*

WEB APPLICATION FOR OCCUPATIONAL SAFETY MANAGEMENT AT INDUSTRIAL ENTERPRISES

Kukankov E.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Telesh I.A. – Cand. of Sci., Associate Professor of the Department of Engineering Psychology and Ergonomics

Annotation. A web application was developed to automate occupational safety management processes at industrial enterprises. The web application utilizes a client-server architecture. The server-side component is developed in Python using the FastAPI framework, the client-side component is implemented in JavaScript, and the PostgreSQL database management system is used for data storage.

Keywords: web application, industrial safety, personnel management, FastAPI, Python, PostgreSQL, JavaScript.

УДК [004.512+004.724]:178

ВЛИЯНИЕ ЦВЕТОВОЙ СРЕДЫ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ НА ЭМОЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ВО ВРЕМЯ ОТКАЗА ОТ ВРЕДНЫХ ПРИВЫЧЕК

Маслова Ю.Ю.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Пилиневич Л.П. – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры ИПиЭ

Аннотация. В данной статье рассматривается проблема эргономического обеспечения веб-приложений, предназначенных для диагностики и отслеживания эмоционального состояния пользователей во время отказа от вредных привычек, а именно влияние цветового оформления интерфейса на психоэмоциональное состояние пользователей, находящихся в уязвимом периоде. На основе современных научных исследований обосновываются принципы проектирования цветовой среды веб-приложения, способствующей снижению тревожности, минимизации когнитивной нагрузки и поддержке позитивного эмоционального фона.

Ключевые слова: инженерная психология, веб-приложение, психология цвета, эмоциональное состояние, интерфейс, поведение.

Введение. Процесс отказа от вредных привычек зачастую сопровождается значительным психоэмоциональным напряжением, повышенной тревожностью и сниженной стрессоустойчивостью. В этот период пользователи особенно чувствительны к внешним раздражителям, включая цифровую среду. Согласно исследованиям, более половины негативных реакций при работе с программными продуктами связано с нарушением принципов цветового проектирования [1, 3]. Таким образом, возникает противоречие между потенциалом веб-приложений и недостаточной проработанностью инженерно-психологических требований к их цветовому оформлению.

Основная часть. Инженерная психология изучает закономерности взаимодействия человека с техническими средствами и направлена на оптимизацию условий его деятельности. В рамках проектирования веб-приложений для пользователей, переживающих период отказа от вредных привычек, данный подход приобретает особую значимость, поскольку предполагает учет процессов восприятия, внимания, памяти и мышления пользователя, находящегося в состоянии повышенной эмоциональной уязвимости.

Экспериментальное исследование М.Е. Хабарова было направлено на изучение влияния цветового оформления веб-сайта на эмоциональное состояние пользователей. В ходе эксперимента респондентам предлагалось оценить макеты с различными цветовыми решениями фона. Результаты позволили не только выявить привлекательность разных цветовых схем, но и установить конкретные взаимосвязи между цветом и возникающими эмоциями. Исследование показало, что цвет фона веб-страницы способен существенно влиять на общий эмоциональный фон пользователя, что особенно значимо для людей в уязвимом состоянии [1].

Значительный вклад в понимание сенсорно-ориентированного дизайна вносит работа З. Хуанга, посвященная веб-доступности с акцентом на использование психологии цвета для людей с нарушениями зрения и нейроотличными состояниями, включая расстройства аутистического спектра (РАС) и синдром дефицита внимания и гиперактивности (СДВГ). Важно отметить, что, хотя фокус данного исследования не был напрямую направлен на проблему цифровых зависимостей или преодоление аддикций, его выводы обладают высокой релевантностью для проектирования интерфейсов поддержки. Автор убедительно демонстрирует, что нейроотличные пользователи, а также люди, находящиеся в состоянии острого или хронического стресса, демонстрируют схожие паттерны сенсорной чувствительности и уязвимости. В ходе масштабного эксперимента с участием более ста человек было доказано, что применение правильно подобранных цветовых решений приводит

к статистически значимому снижению когнитивного напряжения и заметному повышению эффективности навигации в цифровой среде [2]. Это открытие напрямую указывает на то, что цвет может выступать не просто декоративным, а терапевтическим и стабилизирующим фактором интерфейса.

Более объективные данные были получены в исследовании Р. Ханта с соавторами, применившими метод пупиллометрии (измерение диаметра зрачка, пример на рисунке 1) для оценки эмоциональной реакции пользователей на цветовое оформление веб-страниц. Использование психофизиологических методов позволило получить данные, не искаженные субъективными самоотчетами. Результаты показали, что синий и зеленый цвета вызывают положительные эмоции и более высокий уровень возбуждения, тогда как красный и желтый ассоциировались с негативными эмоциональными реакциями. Кроме того, исследователи выявили, что более светлые оттенки воспринимаются позитивнее, чем темные, что указывает на значимость не только цветового тона, но и его яркости [3].

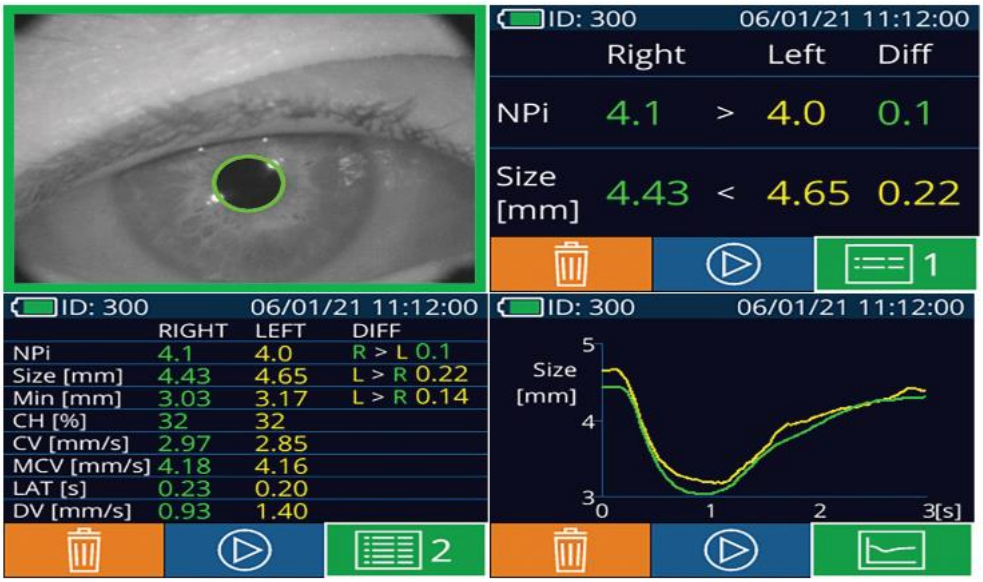


Рисунок 1 – Процесс пупиллометрии

Дальнейшее развитие темы цветового воздействия раскрывается в систематическом обзоре Г. Меликсетян, посвященном психологическому значению цвета в дизайне. Ключевым тезисом ее работы является утверждение, что цветовые значения не могут рассматриваться как универсальные константы; они всегда существуют и интерпретируются в конкретном контексте восприятия. Опираясь на авторитетную теорию «цвет-в-контексте», исследовательница доказывает, что один и тот же цвет способен вызывать диаметрально противоположные эмоциональные реакции в зависимости от ситуационных факторов, культурных норм и уникальных индивидуальных особенностей пользователя. Для нашего исследования особую ценность представляют выделенные автором факторы-модераторы, которые необходимо учитывать при проектировании: это культурный контекст (символика цвета в разных культурах), индивидуальные различия (возраст, пол, личностные характеристики и текущее психоэмоциональное состояние), а также сугубо физические параметры самого цвета, а именно его насыщенность, яркость и гармоничность сочетаемости с другими цветами в палитре [4]. Игнорирование этих модераторов может свести на нет любые позитивные намерения дизайнера. На основе анализа представленных исследований можно сформулировать инженерно-психологические требования к цветовому оформлению веб-приложения для отслеживания эмоционального состояния пользователей во время отказа от вредных привычек. Приоритет следует отдавать холодной цветовой гамме, поскольку синий и зеленый цвета оказывают позитивное воздействие, способствуют снижению тревожности и создают ощущение стабильности, тогда как красный цвет, ассоциирующиеся с негативными эмоциями, необходимо использовать ограниченно и в приглушенных оттенках. Высокая

контрастность между текстом и фоном выступает обязательным условием для снижения когнитивной нагрузки, поэтому рекомендуется применять темный текст на светлом пастельном фоне. Учет света и насыщенности также играет важную роль: пастельные ненасыщенные тона создают успокаивающую атмосферу, а использование ярких насыщенных цветов должно быть минимизировано для избежания сенсорной перегрузки пользователей в стрессовом состоянии. Индивидуализация цветовых настроек через функцию выбора темы позволяет адаптировать интерфейс под личностные особенности и актуальное состояние пользователя.

Применение данных принципов обеспечивает адаптацию веб-приложения под когнитивные и эмоциональные возможности пользователей, что способствует повышению эффективности взаимодействия, снижению тревожности и формированию позитивного пользовательского опыта, необходимого для регулярного использования приложения и успешного преодоления зависимости.

Заключение. В результате проведенного анализа установлено, что инженерно-психологическое обоснование цветового проектирования веб-приложений для диагностики эмоционального состояния пользователей является одним из ключевых факторов их эффективности в период отказа от вредных привычек. Основные причины низкой эффективности подобных приложений могут быть связаны не только с функциональными ограничениями, но и с человеческим фактором – повышенной когнитивной нагрузкой, дискомфортом от визуальной среды, несоответствием цветовых решений психологическим потребностям пользователей в уязвимом состоянии.

Список литературы

1. *Хабаров, М. Е. Изучение влияния цветового оформления сайта на эмоциональное состояние пользователя [Электронный ресурс]. Режим доступа:https://kmu.itmo.ru/digests/article/15513. Дата доступа: 22.02.2026.*

2. *Huang, Z. Web Accessibility Design Using Color Psychology for Visual Impairments and Neurodivergent Conditions / Z. Huang // Proceedings of the 2025 3rd International Conference on Image, Algorithms, and Artificial Intelligence (ICIAAI 2025). – Atlantis Press, 2025. – P. 879-888. – DOI: 10.2991/978-94-6463-823-3_87.*

3. *Hunt, R. E. Exploring the Emotional Impact of Web Loading Page Colours, Brightness Values, and Icon Shapes with Pupillometry / R. E. Hunt, A. M. Edwards, B. F. Howell // E&PDE. – The Design Society, 2025. – P. 703-708. – ISBN 978-1-912254-22-4.*

4. *Meliksetyan, G. The Psychological Meaning of Color in Design: A Semantic Review / G. Meliksetyan // Main Issues Of Pedagogy And Psychology. – 2025. – Vol. 12, № 1. – DOI: 10.24234/miopap.v12i1.64.*

UDC [004.512+004.724]:178

THE INFLUENCE OF THE COLOR ENVIRONMENT OF WEB APPLICATIONS ON THE EMOTIONAL STATE OF USERS DURING WITHDRAWAL FROM BAD HABITS

Maslova Y.Y.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Pilinevich L.P. – Professor of the Department of EPE, Doctor of Technical Sciences

Annotation. This article discusses the problem of ergonomic support for web applications designed to diagnose and track the emotional state of users during the process of quitting bad habits, namely the impact of the color design of the interface on the psychoemotional state of users who are in a vulnerable period. Based on modern scientific research, the article substantiates the principles of designing a color environment for a web application that helps to reduce anxiety, minimize cognitive load, and support a positive emotional background.

Keywords: engineering psychology, web application, color psychology, emotional state, interface, behavior.

УДК 004.946:340.114-053.6:37.01

ИНТЕРАКТИВНАЯ VR-ИГРА «ЛЕСТНИЦА ПРАВ: ВОЗРАСТ ГРАЖДАНИНА ИМЕЕТ ЗНАЧЕНИЕ»

Почебут М. Д., Журавлевич К. А.

Национальный детский технопарк, г. Минск, Республика Беларусь

Научные руководители: Ильясова М.С. – магистр, ассистент кафедры ИПиЭ

Аннотация. Статья посвящена разработке VR-приложения «Лестница прав» для правового просвещения молодежи. Описан пайплайн создания проекта в Blender и Unreal Engine, включая реализацию алгоритмов викторины на базе Blueprints. Рассмотрен механизм визуализации роста правосубъектности через иммерсивное взаимодействие, подтверждающий эффективность VR как инструмента обучения нормам законодательства.

Ключевые слова: виртуальная реальность, правовое воспитание, Unreal Engine, Blender

Введение. Проблема слабой осведомленности молодежи о границах своей ответственности остается острой, несмотря на обилие доступной справочной информации. Традиционные методы обучения часто не обеспечивают глубокого понимания динамики правосубъектности – перехода от частичной дееспособности к полной. Использование технологий виртуальной реальности (VR) позволяет преодолеть этот разрыв, превращая сухой юридический текст в интерактивный опыт. Благодаря эффекту погружения и игровой механике «обучения через действие», пользователь не просто заучивает факты, а визуализирует расширение своих прав и обязанностей в пространстве [1].

Данная работа посвящена проектированию и программной реализации VR-приложения «Лестница прав: возраст гражданина имеет значение» на базе движка Unreal Engine. Основная идея проекта заключается в использовании пространственной метафоры вертикального восхождения, где переход на каждую новую ступень сопровождается интерактивной викториной.

Основная часть. Реализация проекта осуществлялась в рамках гибридного пайплайна, объединяющего среду полигонального моделирования Blender и игровой движок Unreal Engine. Процесс разработки был разделен на три ключевых блока: аналитический, графический и программно-алгоритмический.

На первом этапе был проведен контент-анализ нормативных актов Республики Беларусь (ГК, УК, ТК и Кодекса о браке и семье). На основе полученных данных сформирован реестр «правовых маркеров» для пяти возрастных точек: 6, 10, 14, 16 и 18 лет.

Визуальная концепция «Лестницы» выбрана как наиболее интуитивная метафора социального роста. Каждая ступень представляет собой отдельный интерактивный хаб. Переход на следующий уровень заблокирован до момента успешного прохождения викторины, моделирующей типичные жизненные ситуации.

Создание визуального ряда велось в Blender с применением техник Low-poly моделирования, что критично для поддержания высокой частоты кадров (FPS) в VR-режиме. Особое внимание уделено антропометрической трансформации аватара игрока: по мере восхождения модель персонажа меняется, визуализируя процесс взросления.

Экспорт объектов в Unreal Engine производился в формате .fbx с предварительной настройкой коллизий и разверток. Для снижения вычислительной нагрузки на систему использовалось запекание света и атласы текстур, что позволило сохранить детальность окружения при минимальном потреблении ресурсов видеопамяти [2].

Интерактивная часть реализована на языке визуального программирования Blueprints. Алгоритм работы викторины строится на событийной модели:

1 Инициация: при вхождении игрока в триггерную зону ступени активируется виджет вопроса.

2 Взаимодействие: выбор ответа осуществляется не через стандартное меню, а через физический контакт контроллера с объектом-ответом (компоненты VR Interaction Framework).

3 Валидация: Система сравнивает ID выбранного элемента с эталонным значением из массива данных. При верном ответе срабатывает визуальный триггер (открытие прохода), при ошибке – выводится краткая справка из законодательства.

Общий алгоритм функционирования программных модулей и логика циклического взаимодействия пользователя с VR-средой представлены на рисунке 1.

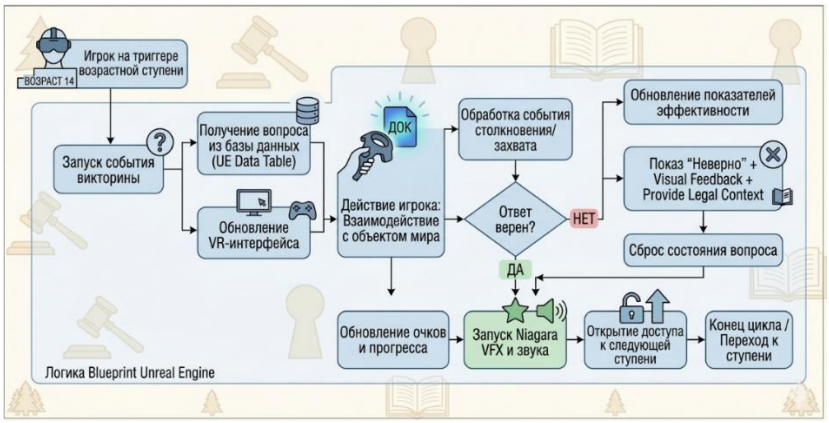


Рисунок 1 - Техническая схема игрового цикла и взаимодействия в VR-викторине «Лестница прав»

Продукт может быть интегрирован в образовательный процесс как инструмент автоматизированного контроля знаний и средство профилактики правонарушений в молодежной среде.

Заключение. В ходе работы разработан интерактивный VR-прототип «Лестница прав», успешно реализующий концепцию иммерсивного обучения основам законодательства. Программная логика на базе Unreal Engine и 3D-моделирование в Blender позволили создать устойчивую систему верификации правовых знаний с высокой частотой кадров и мгновенной обратной связью. Продукт имеет высокий потенциал для внедрения в учебный процесс как эффективное средство профилактики правонарушений в молодежной среде.

Список литературы

1. *Дёшина, Л. А. Иммерсивные технологии в условиях цифровизации образования как инновационный метод обучения / Л. А. Дёшина, Я. Н. Катина [Электронный ресурс] // Экономика и менеджмент: электронный научный журнал. 2023. № 13 (7). С. 69–75. Режим доступа: https://emreview.ru/index.php/emr/article/view/997. Дата доступа: 01.03.2026.*

2. *Шэннон, Т. Unreal Engine 4 для дизайна и визуализации / Т. Шэннон ; пер. с англ. А. В. Ковалевского. М.: ДМК Пресс, 2017. 388 с..*

UDC 004.946:340.114-053.6:37.01

INTERACTIVE VR GAME «LADDER OF RIGHTS: CITIZEN'S AGE MATTERS»

Pochebut M.D., Zhuravlevich K.A.

National Children Technopark, Minsk, Republic of Belarus

Ilyasova M.S. – Master of Technical Sciences, Assistant Lecturer of the EPE Department

Annotation. The article discusses the development of the «Ladder of Rights» VR application for legal education. It describes the project pipeline in Blender and Unreal Engine, including the implementation of quiz algorithms using Blueprints. The mechanism of visualizing legal capacity growth through immersive interaction is considered, confirming the effectiveness of VR for teaching legislative norms.

Keywords: virtual reality, legal education, Unreal Engine, Blender

УДК 004.056:004.773.2

ВЕБ И МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ОНЛАЙН-ПЛАТФОРМЫ ОБЪЯВЛЕНИЙ С ОБЕСПЕЧЕНИЕМ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ДАННЫХ

Раджабов О.М.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Бобровничая М.А. – ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. В работе рассматривается разработка веб и мобильного приложения для онлайн-платформы объявлений с использованием технологий JavaScript, Flutter, HTML, CSS, PostgreSQL и Docker, а также реализация механизмов защиты и безопасного хранения пользовательских данных.

Ключевые слова: онлайн-платформа объявлений, безопасность пользовательских данных, веб-приложение, мобильное приложение, *JavaScript, Flutter, PostgreSQL, Docker*, аутентификация пользователей

Введение. В условиях активного развития цифровых технологий онлайн-платформы объявлений становятся важным инструментом взаимодействия пользователей при поиске товаров и услуг. Однако их распространение сопровождается ростом угроз безопасности, связанных с несанкционированным доступом к учетным записям и утечкой персональных данных. В связи с этим актуальной задачей является разработка программных решений, обеспечивающих безопасное хранение, обработку и передачу пользовательской информации.

Использование современных веб-технологий JavaScript, HTML и CSS, системы управления базами данных PostgreSQL, контейнеризации приложений с помощью Docker, а также мобильной разработки на основе Flutter позволяет создать масштабируемую и защищённую платформу объявлений, обеспечивающую надежное взаимодействие пользователей с системой.

Основная часть. Серверная часть системы разработана на языке программирования JavaScript и реализована по клиент-серверной архитектуре. Серверное приложение выполняет обработку пользовательских запросов, управление данными объявлений и взаимодействие с базой данных.

Для хранения данных используется система управления базами данных PostgreSQL, обеспечивающая централизованное хранение информации о пользователях и объявлениях, а также поддержку транзакций и целостности данных. Для упрощения развертывания и изоляции среды выполнения применяется система контейнеризации Docker, обеспечивающая стабильность работы системы и независимость от особенностей операционной среды [1–3].

Клиентская часть платформы реализована с использованием HTML, CSS и JavaScript и обеспечивает формирование пользовательского интерфейса и взаимодействие с сервером через программный интерфейс API. Мобильная версия системы разработана с использованием фреймворка Flutter, что позволяет создавать кроссплатформенные приложения и обеспечивать доступ к функционалу платформы с мобильных устройств [2].

Для развертывания и изоляции компонентов используется контейнеризация Docker, позволяющая запускать серверное приложение и базу данных в изолированной среде и упрощать процесс развертывания системы на различных вычислительных платформах [4].

Проектирование системы основано на модульной архитектуре и объектно-ориентированном подходе. Основными сущностями являются пользователь, объявление, категория и сообщение, определяющие структуру хранимых данных и взаимодействие компонентов системы [5].

Система предназначена для размещения и управления объявлениями. Пользователи могут создавать и редактировать объявления, просматривать предложения и взаимодействовать с другими участниками платформы. Администратор осуществляет

управление пользователями, модерацию объявлений и контроль функционирования системы. Разграничение прав доступа реализовано на основе ролевой модели, что обеспечивает защиту пользовательских данных.

Структурная схема системы онлайн-платформы объявлений, представленная на рисунке 1, отражает взаимодействие веб-клиента, мобильного приложения, серверной части и базы данных PostgreSQL в рамках клиент-серверной архитектуры.

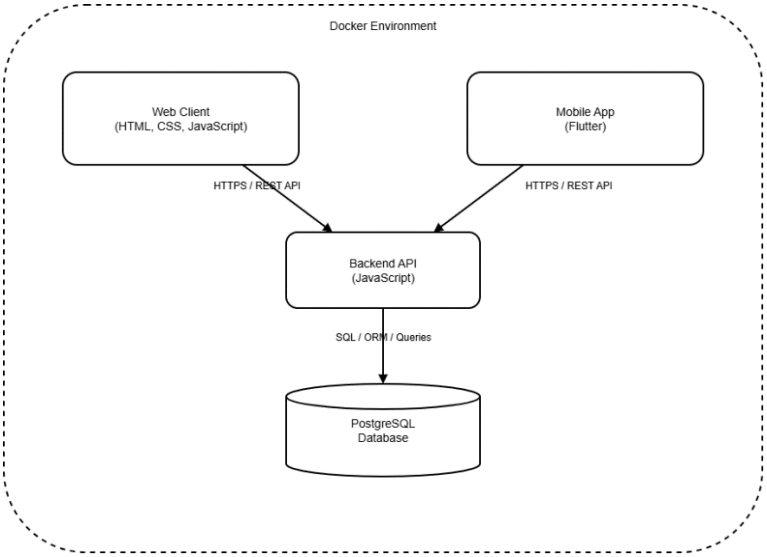


Рисунок 1 – Структурная схема системы онлайн-платформы объявлений

Для проектирования онлайн-платформы объявлений были выделены основные модули клиентской и серверной частей системы и определены связи между ними. Клиентская часть включает веб-приложение, реализованное с использованием HTML, CSS и JavaScript, и мобильное приложение на базе Flutter. Оба клиента взаимодействуют с серверной частью через программный интерфейс приложений (API), отправляя запросы на получение, создание и изменение данных. Серверная часть выполняет обработку пользовательских запросов, реализацию бизнес-логики и взаимодействие с базой данных PostgreSQL, в которой хранится информация о пользователях, объявлениях и действиях в системе.

Архитектура приложения основана на клиент-серверной модели, обеспечивающей централизованную обработку данных и унифицированный обмен информацией между веб-клиентом, мобильным приложением и сервером. Использование API позволяет обеспечить масштабируемость системы и возможность её дальнейшего расширения.

Проектирование программного средства основано на модульном подходе. Основными сущностями системы являются пользователь, объявление, категория и сообщение, определяющие структуру хранимых данных и взаимодействие компонентов.

Пользовательский интерфейс реализован в двух вариантах: веб-интерфейс и мобильное приложение. Веб-версия обеспечивает работу с платформой через браузер, включая просмотр и создание объявлений, а мобильное приложение предоставляет аналогичный функционал для мобильных устройств.

Серверное приложение выполняет обработку запросов, проверку корректности данных и взаимодействие с базой данных PostgreSQL. Все операции с объявлениями выполняются через серверную часть, что обеспечивает централизованное управление данными и повышает безопасность системы.

Таким образом, предложенная архитектура обеспечивает эффективное взаимодействие веб-клиента, мобильного приложения и серверной части системы, а использование базы данных PostgreSQL обеспечивает актуальность и синхронизацию данных для всех пользователей платформы.

Прототип веб-интерфейса онлайн-платформы объявлений с авторизацией пользователя и возможностью управления размещёнными объявлениями представлен на рисунке 2.

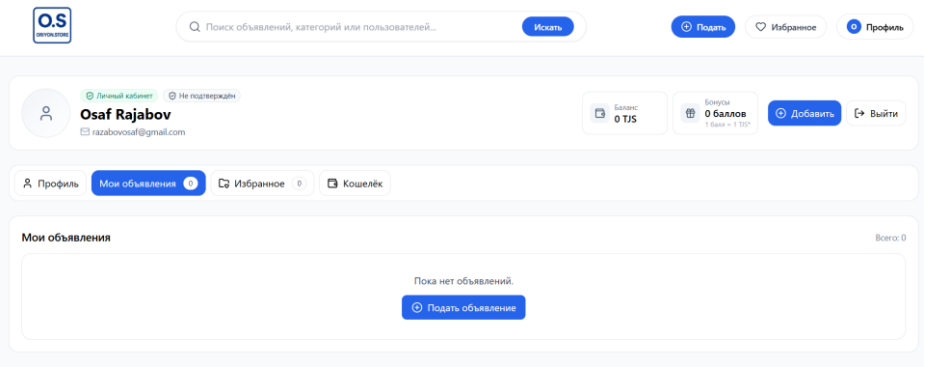


Рисунок 2 – Скриншот страницы «Личный профиль» прототипа пользовательского интерфейса веб-приложения онлайн-платформы объявлений

Заключение. Разработанная онлайн-платформа объявлений обеспечивает централизованное управление учетными записями пользователей, размещение и управление объявлениями, а также безопасное взаимодействие пользователей системы.

Взаимодействие компонентов реализовано по клиент-серверной архитектуре: веб-клиент и мобильное приложение отправляют запросы через API на серверное приложение, где выполняется обработка данных, проверка авторизации пользователей и реализация бизнес-логики системы. Серверная часть взаимодействует с базой данных PostgreSQL, в которой хранятся сведения о пользователях, объявлениях и действиях в системе.

Использование контейнеризации Docker обеспечивает изоляцию компонентов приложения и упрощает процесс развертывания системы. Разработанная платформа обеспечивает удобное размещение и поиск объявлений, централизованное хранение данных и повышенный уровень безопасности пользовательской информации, а также создает основу для дальнейшего расширения функциональных возможностей системы.

Список литературы

1. *JavaScript documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript.*
2. *Flutter documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.flutter.dev/.*
3. *PostgreSQL: The world's most advanced open source database [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.postgresql.org/.*
4. *Docker documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.docker.com/.*
5. *OWASP Web Application Security Testing Guide [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://owasp.org/www-project-web-security-testing-guide/.*

UDC 004.056:004.773.2

WEB AND MOBILE APPLICATION FOR ONLINE CLASSIFIEDS PLATFORM WITH USER DATA SECURITY

Rajabov O.M.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Bobrovnichaya M.A. – Senior Lecturer at the Department of EPE

Annotation. The paper examines the development of a web and mobile application for an online classifieds platform using JavaScript, Flutter, HTML, CSS, PostgreSQL, and Docker technologies, as well as the implementation of mechanisms for protecting and securely storing user data.

Keywords: online classifieds platform, user data security, web app, mobile app, JavaScript, Flutter, PostgreSQL, Docker, user authentication

УДК 004.774:656.7039.1/2

МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ПОКУПКИ АВИАБИЛЕТОВ С ИНТЕГРИРОВАННЫМ БЛОГОМ ДЛЯ ПУТЕШЕСТВЕННИКОВ И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Рябцев Н.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Николаев А.Ю. – ассистент кафедры ИПиЭ

Аннотация. В статье рассматривается процесс разработки мобильного приложения для покупки авиабилетов с интегрированным блогом для путешественников. Основное внимание уделено реализации ключевых функций системы, связанных с поиском, бронированием и оплатой авиабилетов, а также организации информационного сопровождения пользователя. Описаны функциональные возможности приложения, используемые технологии и особенности его эргономического обеспечения.

Ключевые слова: мобильное приложение, покупка авиабилетов, React Native, JavaScript, node.js, PostgreSQL.

Введение. В условиях активного развития цифровых технологий значительная часть процессов, связанных с организацией поездок, осуществляется с использованием интернет-сервисов. Современные пользователи имеют возможность самостоятельно планировать путешествия без необходимости обращения в туристические агентства.

Особую роль в данной сфере играют мобильные приложения, которые обеспечивают быстрый доступ к информации о рейсах и позволяют выполнять основные операции по бронированию и покупке авиабилетов непосредственно со смартфона. Благодаря удобству использования и высокой доступности такие приложения становятся одним из наиболее востребованных инструментов при планировании авиапутешествий.

Большинство существующих решений ориентировано преимущественно на реализацию базовых функций, таких как поиск рейсов, бронирование и оплата билетов. При этом пользователи часто нуждаются в дополнительной информации, связанной с подготовкой и организацией поездки, включая рекомендации, советы и опыт других путешественников.

В связи с этим актуальной задачей является разработка мобильного приложения для покупки авиабилетов, которое дополнительно включает интегрированный блог для путешественников. Объединение сервисных функций и информационного контента в рамках единой системы позволяет повысить удобство использования приложения и предоставить пользователям более комплексный инструмент для планирования путешествий.

Основная часть. Разрабатываемое мобильное приложение предназначено для поиска, выбора и покупки авиабилетов, а также для предоставления пользователю дополнительной информации о путешествиях через интегрированный блог. Функциональная структура обеспечивает последовательное выполнение основных пользовательских операций и информационное сопровождение на всех этапах взаимодействия с системой.

К основным функциям приложения относятся:

– регистрация и авторизация пользователей;
– поиск, фильтрация и сортировка найденных рейсов;
– просмотр деталей перелёта;
– бронирование и оплата заказа;
– просмотр истории заказов;
– просмотр статей блога;
– создание, редактирование, удаление собственных публикаций.

Дополнительно предусмотрены функции уведомлений и настройки интерфейса под предпочтения пользователя, повышающие удобство использования приложения.

В качестве архитектурного решения для реализации системы выбрана клиент-серверная архитектура [1]. Клиентская часть приложения реализуется с использованием React Native, что позволяет обеспечить кроссплатформенную разработку и поддержку мобильных устройств на базе Android и iOS [2]. Серверная часть разрабатывается на платформе Node.js, обеспечивающей обработку пользовательских запросов и взаимодействие с базой данных [3]. Для хранения данных используется PostgreSQL, позволяющая централизованно хранить данные о пользователях, рейсах, бронированиях, пассажирах и публикациях блога. Обмен данными между клиентской и серверной частью осуществляется с помощью REST API.

Важной особенностью разрабатываемой системы является её эргономическое обеспечение. При проектировании пользовательского интерфейса учитывались требования к управляемости и освояемости мобильного приложения. В рамках эргономического проектирования были определены сценарии взаимодействия пользователя с системой, разработаны алгоритмы выполнения основных операций и сформулированы эргономические требования к интерфейсу. Особое внимание уделялось единообразию экранных форм, предсказуемости реакции интерфейса, доступности элементов управления, логике переходов между экранами и снижению когнитивной нагрузки на пользователя.

Интерфейс приложения проектировался с учётом специфики мобильных устройств. Расположение основных элементов было ориентировано на удобство использования приложения одной рукой, а структура экранов формировалась таким образом, чтобы пользователь мог выполнять целевые действия за минимальное количество шагов.

Заключение. В ходе работы разработано мобильное приложение для покупки авиабилетов с интегрированным блогом для путешественников. Рассмотрены его функциональные возможности, архитектурные особенности и используемые технологии. Важной частью работы стало эргономическое обеспечение системы, в рамках которого были проанализированы пользовательские сценарии, определены требования к интерфейсу и учтены особенности взаимодействия пользователя с мобильным устройством. Реализация предложенных решений позволила сформировать удобный, понятный и функциональный интерфейс, обеспечивающий комфортное выполнение основных операций и доступ к дополнительной информации о путешествиях.

Список литературы

1. *Архитектура «клиент–сервер»: основы и принципы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://itspectr.ru/arhitektura-klient-server-osnovy-i-princzipy/. Дата доступа:12.03.2026*

2. *React Navive documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://reactnative.dev/. Дата доступа: 12.03.2026*

3. *Nodejs documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://nodejs.org/docs/latest/api/. Дата доступа: 12.03.2026*

UDC 004.774:656.7039.1/2

MOBILE APPLIACTION FOR PURCHASING AIRLINE TICKETS WITH AN INTEGRATED BLOG FOR TRAVELERS AND ITS ERGONOMIC SUPPORT

Ryabtsev N.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Nikolaev A.Y. – Assistant of the Department of EPE

Annotation. The article examines the development process of a mobile application for purchasing airline tickets with an integrated blog for travelers. Particular attention is paid to the implementation of the system's key functions related to flight search, booking, and payment, as well as to providing users with informational support. The paper describes the application's functional capabilities, the technologies used, and the features of its ergonomic design.

Keywords: mobile application, airline ticket purchase, React Native, JavaScript, Node.js, PostgreSQL.

УДК [004.774+005.953]:331.101.1

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ РАБОТЫ РЕКРУТЕРОВ И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Селюк С.Н.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Воробей А.В. – магистр техн. наук, ассистент кафедры ИПиЭ

Аннотация. Рассмотрены особенности разработки веб-приложения для рекрутинговых процессов и повышения эффективности работы специалистов по подбору персонала. Показано, что использование единой цифровой платформы позволяет снизить когнитивную нагрузку на рекрутера, ускорить выполнение рутинных операций и повысить точность принятия решений. Проанализировано влияние эргономики интерфейса и визуальных решений на производительность пользователя, а также роль автоматизации коммуникаций и аналитики в оптимизации рекрутинговой воронки.

Ключевые слова: автоматизация рекрутинга, веб-приложение, HR-технологии, цифровизация, интерфейс, эргономика, пользовательский опыт, аналитика, управление персоналом.

Введение. Современный рынок труда характеризуется высокой конкуренцией за квалифицированных специалистов, что обусловливает ключевую роль эффективности рекрутинговых процессов для успешности компании. Ручная обработка резюме, многоступенчатая коммуникация и отслеживание этапов подбора требуют от рекрутера значительных временных затрат и повышают риск ошибок. Значительная часть рабочего времени специалиста расходуется на рутинные операции: поиск по базе кандидатов, шаблонную переписку, согласование собеседований и перенос данных. Высокая когнитивная нагрузка при работе с большим объемом разнородной информации приводит к утомлению и снижению продуктивности [1].

В условиях цифровой трансформации актуальной становится задача внедрения специализированных веб-приложений, автоматизирующих рутинные операции, структурирующих данные и снижающих когнитивную нагрузку на рекрутера. Цифровизация HR-процессов является стратегическим направлением развития предприятий, влияющим на их конкурентоспособность [2]. Существующие программные решения часто имеют перегруженный интерфейс, требуют дополнительного времени на освоение и представляют собой либо слабоинтегрированные модули, либо избыточно громоздкие системы [3]. Таким образом, разработка систем с глубокой проработкой пользовательского опыта и эргономичностью является целесообразной.

Основная часть. Анализ деятельности рекрутера позволяет выделить ряд ключевых задач, выполнение которых может быть оптимизировано средствами автоматизации. К ним относятся управление вакансиями, ведение базы кандидатов, отслеживание статусов в рекрутинговой воронке, организация коммуникации и собеседований, а также формирование аналитической отчетности. На рисунке 1 представлена диаграмма вариантов использования, которая наглядно показывает функциональные возможности, предоставленные пользователю-рекрутеру, а также их взаимосвязи [4].



Рисунок 1 - Диаграмма вариантов использования

Диаграмма вариантов использования служит фундаментальной основой для понимания, специфицирования и документирования функциональных требований к системе. Она отражает полный цикл работы с вакансиями и кандидатами, включая создание и редактирование вакансий, поиск и фильтрацию кандидатов по множеству параметров, управление их статусами в процессе отбора, организацию собеседований и формирование отчетности. Важным аспектом, отраженным на диаграмме, является персонализация работы через инструменты управления профилем и настройки уведомлений.

Автоматизация рекрутинга перераспределяет функции между человеком и программой, минимизируя рутину при четком разделении зон ответственности: создание описаний вакансий и утверждение требований остается за рекрутером, тогда как система проверяет заполнение полей, сохраняет шаблоны и публикует вакансии на внешних платформах. В работе с базой кандидатов специалист проводит оценку и интервью, а система обеспечивает интеллектуальный поиск, фильтрацию, импорт резюме и структурирование данных. Визуализация статусов кандидатов в виде воронки с автоматическим перемещением карточек выполняется системой, но решение о переходе на следующий этап принимает человек. Планирование собеседований автоматизировано в части синхронизации календарей, генерации ссылок и напоминаний, тогда как проведение интервью и оценка остаются за рекрутером. Отчетность автоматически генерируется системой с расчетом метрик, предоставляя специалисту основу для анализа и управленческих решений.

Центральным элементом эффективной работы с системой является ее эргономическое обеспечение: интерфейс должен проектироваться с учетом предсказуемости, чистоты визуального пространства и удобства навигации, поскольку перегруженность и слабая визуализация ведут к росту ошибок и выгоранию [3]. Визуализация рекрутинговой воронки в виде карточек, перемещаемых между этапами, позволяет рекрутеру мгновенно оценить картину по вакансии без погружения в текстовые отчеты.

Цветовое оформление напрямую влияет на когнитивную нагрузку: темная тема снижает зрительное утомление и повышает концентрацию, спокойные синие и зеленые тона для акцентных элементов ассоциируются с безопасностью и снижают психологическое сопротивление при рутине [5], тогда как контрастные цвета для критичных статусов («Просрочено», «Отказ») мгновенно привлекают внимание к проблемным зонам.

Автоматизация коммуникаций является важным фактором снижения временных затрат. Система обеспечивает автоматическую отправку уведомлений и напоминаний, а также предоставляет библиотеку шаблонов писем для различных сценариев: приглашение на собеседование, подтверждение получения резюме, отказ. Это позволяет рекрутеру поддерживать высокий уровень взаимодействия с кандидатами без дополнительных временных затрат и риска забыть о важном событии. Своевременная обратная связь, как показывают исследования HR-практик, значительно повышает вероятность успешного найма и положительно влияет на имидж компании как работодателя [2].

Аналитический блок системы является инструментом для стратегического управления процессом подбора. Настраиваемые дашборды с визуализацией ключевых метрик, таких как время закрытия вакансий, конверсия между этапами и эффективность источников, позволяют рекрутеру и руководителю выявлять узкие места и принимать обоснованные управленческие решения. Визуализация данных в виде графиков и диаграмм делает аналитику доступной и наглядной, превращая ее из инструмента контроля в инструмент оптимизации.

Заключение. Автоматизация рекрутинга является необходимым этапом развития HR-процессов в условиях цифровой трансформации. Разработка веб-приложения с продуманным эргономичным интерфейсом позволяет снизить когнитивную нагрузку на рекрутера, ускорить выполнение рутинных операций и повысить точность принятия решений. Использование научно обоснованных принципов UX-дизайна, визуальной эргономики и аналитики делает систему удобной, эффективной и устойчивой к масштабированию. Такое приложение становится стратегическим инструментом, повышающим конкурентоспособность компании и качество подбора персонала.

Список литературы

1. *Эргономическое проектирование систем «человек-компьютер-среда» / И.Г. Шупейко. – Минск: БГУИР, 2012. – 112 с.*

2. *Черняков, М.К. Цифровизация управления персоналом: современные тенденции и вызовы для российских предприятий / М.К. Черняков, И.А. Чернякова // Экономика и управление. – 2024. – № 2. – С. 45–52.*

3. *Автоматизация HR-процессов: что действительно работает, а что превращается в цифровой кошмар [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://vc.ru/hr/. – Дата доступа: 27.02.2026.*

4. *Использование диаграммы вариантов использования UML при проектировании программного обеспечения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://habr.com/ru/articles/566218/. – Дата доступа: 27.02.2026.*

5. *Color Psychology in UI Design: How Colors Influence User Behavior [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://gapsystudio.com/blog/color-psychology-in-ui-design/. – Дата доступа: 27.02.2026.*

UDC [004.774+005.953]:331.101.1

WEB APPLICATION FOR RECRUITERS AND ITS ERGONOMIC SUPPORT

Seluk S.N.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Vorobey A.V. – Master of Sci., assistant of the Department of EPE

Annotation. The paper examines the features of developing a web application for recruitment processes and improving the efficiency of HR specialists. It is shown that the use of a unified digital platform reduces the cognitive load on the recruiter, accelerates the execution of routine operations, and increases the accuracy of decision-making. The influence of interface ergonomics and visual solutions on user performance is analyzed, as well as the role of communication automation and analytics in optimizing the recruitment funnel.

Keywords: recruitment automation, web application, HR technologies, digitalization, interface design, ergonomics, user experience, analytics, personnel management.

УДК [004.774+364-322]:331.101.1

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОВЕДЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ВОЛОНТЕРСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Скрипов И.О.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Пархоменко Д.А. – ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. Данное исследование посвящено разработке веб-приложения для организации и проведения экологических волонтерских мероприятий. В работе рассмотрены основные принципы проектирования системы, включая формирование цифровой экосреды взаимодействия волонтеров и организаторов, эргономичность пользовательского интерфейса, автоматизацию процессов и доступность. Описаны функциональные возможности платформы, направленные на координацию мероприятий, учет волонтерской активности и информационное сопровождение экологических инициатив. Разработка веб-приложения способствует цифровизации экологического волонтерства, повышению вовлеченности участников и оптимизации процессов взаимодействия между организаторами и волонтерами.

Ключевые слова: веб-приложение, волонтерство, организация мероприятий, эргономика, интерактивная карта

Введение. Современное развитие цифровых технологий оказывает значительное влияние на социально значимые сферы деятельности, включая экологическое волонтерство. Рост числа экологических инициатив и мероприятий требует эффективных инструментов для координации участников, распространения информации и учета волонтерской активности. Использование разрозненных платформ и неструктурированных каналов коммуникации существенно снижает эффективность взаимодействия между организаторами и волонтерами [1].

В связи с этим разработка специализированного веб-приложения, обеспечивающего централизованное управление экологическими мероприятиями и комфортное взаимодействие участников, является актуальной задачей. Особое значение в данном контексте приобретает эргономическое обеспечение пользовательского интерфейса, способствующее снижению когнитивной нагрузки и повышению удобства использования системы [2].

Основная часть. Разработанное веб-приложение представляет собой программное решение, направленное на организацию и проведение экологических волонтерских мероприятий в рамках единой цифровой экосреды взаимодействия волонтеров и организаторов. Система объединяет функциональные модули управления мероприятиями, учета волонтерской активности и информационного сопровождения экологических инициатив, обеспечивая целостный и структурированный процесс взаимодействия участников.

Актуальность данного исследования обусловлена ростом числа экологических инициатив и необходимостью эффективной координации волонтерской деятельности. Использование разрозненных цифровых инструментов и неструктурированных каналов коммуникации приводит к фрагментации информации, снижению вовлеченности участников и увеличению временных затрат на организацию мероприятий. Создание специализированного веб-приложения, ориентированного на формирование устойчивого цифрового сообщества, является важной задачей в контексте цифровизации экологического волонтерства.

Архитектура системы реализована на основе клиент-серверной модели, обеспечивающей надежность и масштабируемость приложения. Клиентская часть реализована с использованием современных библиотек веб-разработки, что обеспечивает высокую отзывчивость интерфейса и удобство взаимодействия с пользователем. Серверная часть отвечает за обработку данных, управление пользовательскими сценариями и хранение

информации о мероприятиях и волонтерской активности. Такое архитектурное решение позволяет гибко расширять функциональные возможности системы и адаптировать ее под рост числа пользователей.

Ключевой особенностью разрабатываемого веб-приложения является формирование цифровой экосреды взаимодействия волонтеров и организаторов экологических мероприятий. В отличие от традиционных сервисов, ориентированных исключительно на размещение событий, система обеспечивает устойчивое информационное взаимодействие участников, включая возможность подписки на организаторов, публикацию информационных материалов и накопление истории участия волонтеров. Это способствует формированию долгосрочной вовлеченности и развитию экологического сообщества.

Особое внимание при разработке системы уделено вопросам эргономического обеспечения пользовательского интерфейса. Интерфейс спроектирован с учетом принципов интуитивной навигации, минимизации когнитивной нагрузки и соблюдения визуальной иерархии. Основные элементы управления располагаются в центральной части экранов, второстепенные – в периферийных зонах, что облегчает восприятие информации и ускоряет выполнение пользовательских действий. Использование единого визуального стиля, согласованной цветовой палитры и типографики способствует формированию целостного пользовательского опыта.

Процесс взаимодействия волонтера с системой начинается с ознакомления с доступными экологическими мероприятиями и информационными материалами организаторов. Далее пользователь может зарегистрироваться для участия в выбранном мероприятии, после чего система фиксирует его активность и сохраняет данные в личной истории участия. Организаторы, в свою очередь, получают инструменты для создания мероприятий, управления списками участников и информационного сопровождения инициатив [3]. Такой сценарий взаимодействия обеспечивает прозрачность процессов и упрощает координацию волонтерской деятельности.

Дополнительным преимуществом системы является возможность накопления и анализа данных о волонтерской активности. Информация о количестве мероприятий, типах участия и регулярности активности позволяет формировать обобщенное представление о вовлеченности волонтеров и эффективности проводимых инициатив. Наглядное отображение данных способствует осознанию личного вклада участников и поддерживает мотивацию к дальнейшему участию в экологической деятельности (рисунок 1).

Важным функциональным элементом системы является использование интерактивной карты экологических мероприятий. Данный инструмент позволяет визуализировать информацию о местах проведения акций, таких как уборка территорий, посадка деревьев или экологические образовательные мероприятия. Пользователь может определить географическое расположение события и выбрать наиболее удобное для участия мероприятие. Интерактивная карта упрощает процесс поиска мероприятий и повышает эффективность координации волонтерской деятельности.

Кроме того, в системе реализованы механизмы информационной поддержки экологических инициатив, включающие публикацию новостей, рекомендаций по экологически ответственному поведению и отчетов о проведенных мероприятиях. Такой подход повышает осведомленность пользователей о текущих экологических проблемах и возможностях участия в их решении. Информационный раздел платформы выполняет не только координационную, но и образовательную функцию, способствуя формированию активного сообщества пользователей, заинтересованных в развитии экологического волонтерства.

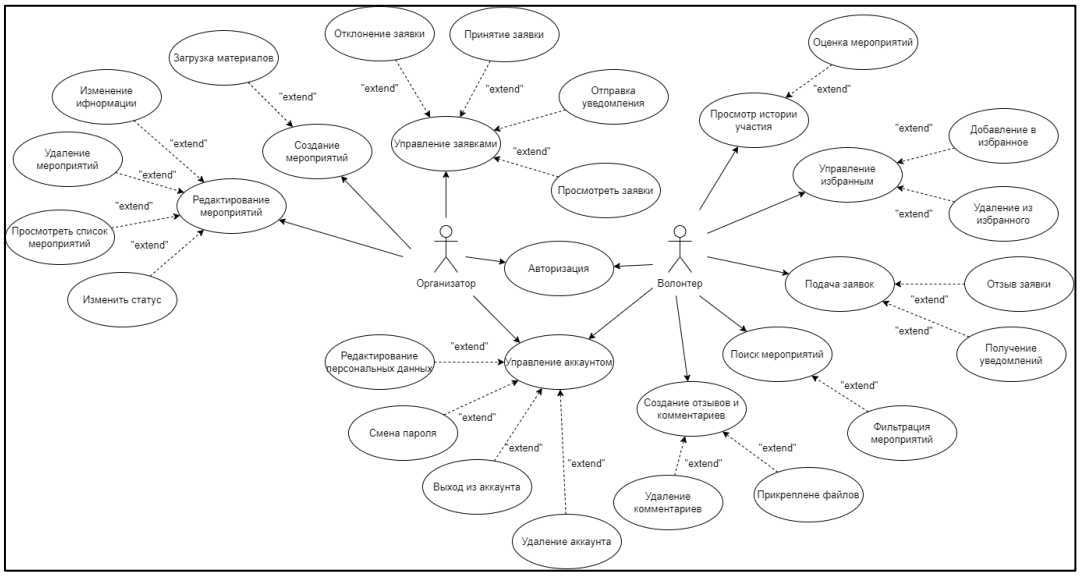


Рисунок 1 – Диаграмма вариантов использования

Заключение. Разработанное веб-приложение для организации и проведения экологических волонтерских мероприятий представляет собой эффективный инструмент для автоматизации ключевых процессов, включая создание и управление мероприятиями, координацию взаимодействия между волонтерами и организаторами, учет волонтерской активности и информационное сопровождение экологических инициатив. Формирование цифровой экосреды обеспечивает устойчивое взаимодействие участников и способствует повышению вовлеченности в экологическую деятельность.

Использование современных технологий веб-разработки обеспечивает высокую производительность, удобство пользовательского взаимодействия и возможность масштабирования системы.

Список литературы

1. *Котляров, И. Д. Цифровые платформы и социальные инициативы : учебное пособие / И. Д. Котляров. – Москва : Юрайт, 2020. – 176 с.*

2. Головач, В. В. Дизайн пользовательского интерфейса : пособие / В. В. Головач. – Москва : Юзетикс, 2015. – 64 с.

3. *Цифровое эковолонтерство как новая форма экологического воспитания / А. Ю. Луговская, Л. Ю. Анопченко. // 2022. – Vol. 1, № 35. – P. 60-64.*

UDC [004.774+364-322]:331.101.1

WEBSITE APPLICATION FOR ORGANIZING AND CARRYING OUT ENVIRONMENTAL VOLUNTEER ACTIVITIES AND ITS ERGONOMIC SUPPORT

Skripov I.O.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Parkhomenko D.A. – Senior Lecturer at the Department of Engineering Psychology and Electronics

Annotation. This study focuses on the development of a web application for organizing and conducting environmental volunteer events. The paper explores the fundamental principles of system design, including the creation of a digital ecosystem for volunteers and organizers, user-friendliness, process automation, and accessibility. It also describes the platform's functionality, which aims to coordinate events, track volunteer activities, and provide information support for environmental initiatives. This web application contributes to the digitalization of environmental volunteering, enhancing participant engagement, and optimizing communication processes between organizers and volunteers.

Keywords: web application, volunteering, event organization, ergonomics, interactive map

УДК 621.3.049.77–048.24:537.2

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО ПО АВТОМАТИЗАЦИИ КОНТРОЛЯ ПРЕБЫВАНИЯ СОТРУДНИКОВ НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ И НАЧИСЛЕНИЯ ЗАРАБОТНОЙ ПЛАТЫ

Соболь М.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Бобровничая М.А. – ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. В условиях цифровизации предприятий и повышения требований к точности финансовых расчетов актуальной становится задача автоматизации учета рабочего времени и расчета заработной платы. Разрабатываемое программное средство предназначено для комплексной автоматизации процессов кадрового учета, контроля пребывания сотрудников на рабочем месте и начисления заработной платы. Система обеспечивает ведение единой базы данных сотрудников, формирование табелей учета рабочего времени, расчет заработной платы с учетом различных систем оплаты труда, а также подготовку отчетной документации. Внедрение программного средства позволит минимизировать ошибки при расчетах, сократить временные затраты на рутинные операции и обеспечить прозрачность начислений.

Ключевые слова: программное средство, автоматизация, учет рабочего времени, начисление заработной платы, кадровый учет, табель учета.

Введение. Управление персоналом и расчет заработной платы являются ключевыми процессами в деятельности любого предприятия. От точности и своевременности этих операций зависит не только финансовая стабильность организации, но и социальная удовлетворенность сотрудников. Традиционные методы учета, основанные на ручном заполнении табелей и использовании табличных процессоров, часто приводят к ошибкам, потере времени и конфликтным ситуациям. Переход к автоматизированным системам требует создания специализированных инструментов, которые интегрируют в себе функции кадрового учета, контроля рабочего времени и расчета заработной платы [1].

Основная часть. Процесс учета рабочего времени и расчета заработной платы является критически важным для финансовой деятельности предприятия. Традиционный подход, основанный на использовании разрозненных таблиц и ручных вычислений, не обеспечивает ни должной точности, ни оперативности доступа к информации.

Для решения данной проблемы разрабатывается программное средство, которое автоматизирует полный цикл работы с кадровыми данными и расчетами. Первым ключевым компонентом системы является модуль кадрового учета. Он содержит единую базу данных сотрудников, где фиксируются их персональные данные, должности, оклады, графики работы, приказы о приеме, перемещениях и увольнении. Это обеспечивает прозрачность и оперативность доступа к информации для HR-отдела, бухгалтерии и руководителей подразделений [2].

Вторым важнейшим компонентом является модуль учета рабочего времени. Система позволяет фиксировать фактически отработанное сотрудниками время, учитывать явки, неявки, отпуска, командировки и больничные. На основе введенных данных автоматически формируется табель учета рабочего времени. Модуль поддерживает различные режимы работы: стандартная пятидневная рабочая неделя, сменные графики, гибкий график, суммированный учет рабочего времени. Это позволяет применять систему на предприятиях с различной спецификой организации труда.

Третьим функциональным блоком выступает расчетный модуль. Он обеспечивает автоматическое начисление заработной платы на основе данных кадрового учета и фактически отработанного времени. Система поддерживает различные системы оплаты труда: повременную (на основе оклада или тарифной ставки); сдельную (на основе выполненных объемов работ); комиссионную (процент от выручки или продаж); бонусную (с учетом премий и надбавок). Расчетный модуль автоматически выполняет начисление всех предусмотренных

законодательством налогов и взносов, формирует расчетные листки, платежные ведомости. Это позволяет полностью исключить арифметические ошибки и обеспечить соответствие расчетов требованиям законодательства [3].

Важной составляющей системы является модуль отчетности. Он позволяет формировать различные аналитические и регламентированные отчеты: расчетно-платежные ведомости, индивидуальные карточки по налогам, своды начислений и удержаний, статистическую отчетность по труду. Руководитель предприятия получает возможность оперативно получать информацию о фонде оплаты труда и его структуре для принятия обоснованных управленческих решений.

Внедрение разрабатываемого программного средства на предприятии дает ряд существенных преимуществ. Во-первых, это снижение временных затрат бухгалтерии и отдела кадров за счет автоматизации рутинных операций. Во-вторых, минимизация ошибок: система исключает арифметические ошибки и ошибки ввода данных, что особенно важно при расчете заработной платы и соблюдении налогового законодательства. В-третьих, прозрачность начислений: сотрудники могут получать детализированные расчетные листки, что повышает доверие к работодателю. Кроме того, централизованное хранение всех кадровых документов и истории расчетов создает прозрачный и проверяемый архив.

Заключение. Таким образом, разрабатываемое программное средство по автоматизации контроля пребывания сотрудников на рабочем месте и начисления заработной платы представляет собой комплексное решение для современного предприятия. Оно объединяет в себе функции кадрового учета, контроля рабочего времени и расчета заработной платы в строгом соответствии с требованиями законодательства. Использование такой системы повышает эффективность работы бухгалтерии и отдела кадров, обеспечивает достоверность расчетов и способствует соблюдению трудового законодательства, что в условиях цифровой трансформации экономики является необходимым условием для стабильной деятельности организации.

Список литературы

1. *Егоршин, А.П. Основы управления персоналом / Москва: ИНФРА-М, 2024.*

2. *Харитонов, С.А. Учет рабочего времени и расчет заработной платы в программных продуктах 1С / С.А. Харитонов. – М.: 1С-Паблишинг, 2023.*

3. *Воробьева, Е.В. Расчет заработной платы в современных информационных системах / Е.В. Воробьева // Бухгалтерский учет и налогообложение. – 2024.*

UDC 621.3.049.77–048.24:537.2

SOFTWARE TOOL FOR AUTOMATION OF EMPLOYEE WORKPLACE ATTENDANCE CONTROL AND PAYROLL CALCULATION

Sobal M.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Bobrovnichaya M.A. – Senior Lecturer at the Department of EPE

Annotation. In the context of enterprise digitalization and increasing requirements for the accuracy of financial calculations, the task of automating working time tracking and payroll calculation becomes relevant. The developed software tool is designed for comprehensive automation of personnel records, employee workplace attendance control and payroll calculation processes. The system provides a unified employee database, formation of working time sheets, payroll calculation considering various remuneration systems, as well as the preparation of reporting documentation. Implementation of the software tool will minimize errors in calculations, reduce time spent on routine operations and ensure transparency of accruals.

Keywords: software tool, automation, working time tracking, access control, time sheet, payroll calculation, labor discipline.

УДК 004.774:336.717

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ИНТЕРНЕТ-БАНКИНГА С СИСТЕМОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ И АНАЛИЗА ФИНАНСОВОЙ АКТИВНОСТИ КЛИЕНТОВ И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Соколовский Д.И.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Пилиневич И.В. – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры ИПиЭ

Аннотация. Рассмотрены ключевые функции веб-приложения интернет-банкинга, предназначенного для автоматизации взаимодействия пользователя с банковскими услугами. Платформа предоставляет пользователям интуитивно понятный интерфейс для управления счетами, осуществления платежей и переводом, отслеживания расходов, а также оформления финансовых продуктов. Описаны функциональные возможности и архитектурные особенности решения.

Ключевые слова: веб-приложение, интернет-банкинг, React, TypeScript, PostgreSQL.

Введение. Стремительная цифровизация финансового сектора и рост числа пользователей меняют подход к банковскому обслуживанию, делая интернет-банкинг удобным инструментом взаимодействия клиентов и банков. Такие традиционные подходы, как посещение отделений, бумажные выписки, телефонные звонки, уступают место цифровым сервисам, поскольку не способны обеспечить высокую скорость и удобство при совершении повседневных операций.

Переход от бумажного документооборота и ручных операций к автоматизированным онлайн сервисам позволяет банкам повысить доступность своих услуг, сократить операционные издержки и предоставить клиентам возможность полноценно распоряжаться средствами в любое время из любой точки мира. Такое приложение становится единой точкой доступа к банковским продуктам, обеспечивая централизованное управление счетами, автоматизацию платежей и персонализацию сервисов.

Актуальность разработки веб-приложения для интернет-банкинга обусловлена растущими ожиданиями пользователей, поскольку необходима не только надежность и безопасность, но и интуитивная понятность, мгновенное выполнение операций и гибкая настройка под индивидуальные потребности. Использование передовых технологий позволяет реализовать высокопроизводительное и масштабируемое решение, обеспечивающее защиту данных, стабильность работы и положительный пользовательский опыт.

Основная часть. Система интернет-банкинга построена по клиент-серверной архитектуре, что обеспечивает четкое разделение логики представления и бизнес-логики приложения.

Серверная часть реализована на платформе Node.js, использующей асинхронную модель обработки запросов. Данный выбор позволяет использовать приложение с высокой производительностью даже при большом количестве сторонних запросов и подключений, что критически важно для финансового приложения с интенсивным сетевым взаимодействием. Асинхронная архитектура позволяет серверу обрабатывать множество запросов параллельно без блокировки потоков выполнения [1].

Клиентская часть реализована на основе библиотеки React и языка TypeScript. Применение TypeScript позволяет использовать статическую типизацию, что снижает вероятность ошибок, а также помогает поддерживать масштабируемость кода. Библиотека React обеспечивает построение компонентной структуры, обеспечивающую возможность повторного использования компонентов, такие как формы платежей, выписки по счетам и историю транзакций, что обеспечивает единообразие пользовательского опыта и ускоряет разработку новых экранов [2].

Управление базой данных PostgreSQL осуществляется через инструмент pgAdmin. Данное средство предоставляет графический интерфейс для проектирования схемы данных, выполнения запросов и мониторинга производительности. Создание резервных копий и восстановление данных через pgAdmin обеспечивает дополнительный уровень защиты финансовой информации, позволяя оперативно реагировать на возможные сбои.

Веб-приложение обеспечивает комфортное и безопасное управление личными финансами через веб-интерфейс. Сервис предоставляет клиентам понятную навигацию по всем продуктам банка, упрощает процессы переводов, оплаты кредитов и открытия вкладов, делая банковское обслуживание доступным в любое время.

В приложении реализована ролевая модель, разграничивающая права обычных пользователей и администраторов. Клиенты управляют личными финансами: создают профиль, оформляют кредиты и вклады, добавляют карты, просматривают историю операций. Администраторы отвечают за наполнение платформы – редактируют информацию о банке, публикуют новости и управляют списком партнёров, не вмешиваясь в персональные данные пользователей. Такое разделение обеспечивает безопасность счетов и актуальность публичного контента, сохраняя конфиденциальность клиентов.

Главной целью создания приложения является упрощение работы пользователя с финансовыми операциями. Клиент может не только управлять своим счетом в банке, но также полноценно работать с кредитами и вкладами, контролировать историю операций и настраивать личный профиль.

Работа с кредитами и вкладами реализована как единый интегрированный процесс. Пользователь может просматривать все действующие кредиты с детализацией по срокам, процентным ставкам и остатку задолженности. Аналогичная структура предусмотрена для вкладов, где отображается информация о сумме, дате открытия и доходности. Система автоматически рассчитывает предстоящие платежи и позволяет выполнять досрочное погашение кредитов или пополнение вкладов без посещения отделения. Для удобства навигации при наличии нескольких продуктов реализована фильтрация, позволяющая выводить на экран только нужную категорию записей.

Контроль истории операций обеспечивает полную прозрачность всех движений средств. Пользователю доступен детализированный журнал транзакций с возможностью отбора записей за конкретный день, неделю или произвольный период. По каждой операции указывается сумма, дата, тип платежа и статус проведения. Такая функциональность позволяет отслеживать текущие расходы и поступления, анализировать финансовые потоки во временном разрезе, что особенно важно для личного бюджетирования и планирования.

Интерфейс веб-приложения спроектирован с акцентом на минимизацию лишних действий и интуитивную понятность. Система навигации позволяет пользователю перемещаться между ключевыми разделами интернет-банкинга, быстро находя необходимую информацию. Визуальная структура построена так, чтобы наиболее востребованные функции всегда оставались в зоне быстрого доступа, а логика расположения элементов исключала путаницу. Адаптивность интерфейса обеспечивает комфортное взаимодействие на любом устройстве, единый стиль создает ощущение контроля и предсказуемости, что позволяет полностью сосредоточиться на выполняемой задаче.

На основе анализа функциональных требований построена диаграмма вариантов использования, которая наглядно демонстрирует спектр доступных операций для каждой категории пользователей. Клиенты могут регистрироваться в системе, распоряжаться счетами и картами, открывать кредиты и вклады, а также контролировать историю транзакций. Администратору отведены функции наполнения контентом, а именно редактирование справочной информации о банке, публикация новостей и ведение списка партнёров. Диаграмма показана на рисунке 1.

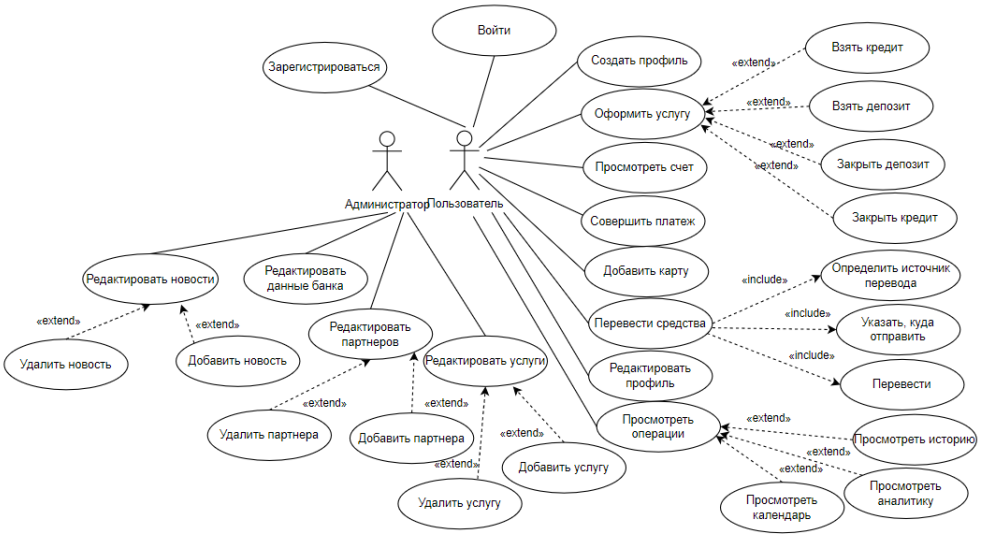


Рисунок 1 - Диаграмма вариантов использования

Разработанная диаграмма вариантов использования визуализирует функциональные требования к приложению, определяя перечень доступных операций для клиента и администратора.

Заключение. Разработанное веб-приложение интернет-банкинга построено на современной клиент-серверной архитектуре с использованием Node.js, React и PostgreSQL. Система автоматизирует управление счетами, картами, кредитами и вкладами, а также предоставляет детализированный контроль истории операций. Ролевая модель разграничивает права клиентов и администраторов, обеспечивая безопасность данных и актуальность публичного контента.

Интуитивно понятный интерфейс и адаптивная вёрстка гарантируют комфортную работу на любых устройствах. Разработанное решение полностью отвечает современным потребностям пользователей в удобном управлении личными финансами.

Список литературы

1. *Introduction in Node.js [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://nodejs.org/en/learn/getting-started/introduction-to-nodejs.org. Дата доступа: 21.02.2026*

2. *TypeScrypt documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.typescriptlang.org. Дата доступа: 21.02.2026*

3. *PostgreSQL documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.postgresql.org. Дата доступа: 17.02.2026*

UDC 004.774:336.717

WEB APPLICATION FOR INTERNET BANKING WITH A SYSTEM FOR VISUALIZING AND ANALYZING CLIENT FINANCIAL ACTIVITY AND ITS ERGONOMIC SUPPORT

Sokolovsky D.I.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Pilinevich L.P. – Dr. of Sci., Professor, Professor of the Department of EPE

Annotation. The key functions of a web application for internet banking designed to automate user interaction with banking services are examined. The platform provides users with an intuitive interface for managing accounts, making payments and transfers, tracking expenses, and arranging financial products. The functional capabilities and architectural features of the solution are described.

Keywords: web application, internet banking, React, TypeScript, PostgreSQL.

УДК 004.774:334.728

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ АРЕНДОЙ ПОМЕЩЕНИЙ ТОРГОВОГО ЦЕНТРА И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Тарасов В.О.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Андриалович И.В. — магистр техники и технологии, ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. Представлены основные функции веб-приложения для управления арендой помещений торгового центра, обеспечивающего автоматизацию взаимодействия между арендатором и управляющей компанией. Система предоставляет инструменты для просмотра доступных помещений, заключения и сопровождения договоров аренды, контроля платежей, подачи заявок в техническую службу, а также анализа финансовых показателей. Описаны ключевые пользовательские сценарии и архитектурные особенности решения.

Ключевые слова: веб-приложение, аренда помещений, торговый центр, FastAPI, React, TypeScript, PostgreSQL.

Введение. В условиях высокой конкуренции на рынке коммерческой недвижимости эффективное управление арендными отношениями становится критически важным фактором стабильности и прибыльности торгового центра. Традиционные способы взаимодействия с арендаторами – бумажные договоры, электронная почта и разрозненные таблицы – приводят к задержкам в обработке заявок, ошибкам в расчётах и снижению прозрачности процессов.

Цифровизация арендных процессов позволяет повысить управляемость, минимизировать операционные риски и обеспечить арендаторам удобный доступ к информации о договорах, начислениях и состоянии помещений. Веб-приложение выступает в роли единой информационной системы, обеспечивающей централизованное хранение данных и автоматизацию ключевых бизнес-процессов.

Разработка веб-приложения для управления арендой помещений торгового центра является актуальной задачей, поскольку арендаторы ожидают прозрачности расчётов, быстрого реагирования на обращения и возможности удалённого взаимодействия с администрацией.

Основная часть. Система реализована в виде клиент-серверного веб-приложения.

Серверная часть разработана на языке Python с использованием фреймворка FastAPI. Выбор обусловлен высокой производительностью, поддержкой асинхронной обработки запросов (ASGI), встроенной валидацией данных на основе Pydantic и автоматической генерацией OpenAPI-документации. Это позволяет обеспечить строгую типизацию входных и выходных данных, упростить тестирование API и повысить надёжность системы [1].

Клиентская часть реализована с использованием библиотеки React и языка TypeScript. Применение TypeScript обеспечивает статическую типизацию на уровне интерфейса, снижая вероятность ошибок и повышая сопровождаемость кода. React позволяет строить компонентную архитектуру, обеспечивающую переиспользуемость элементов интерфейса и эффективное управление состоянием приложения [2].

Для обеспечения надежного хранения и обработки данных применяется СУБД PostgreSQL. Реляционная модель позволяет эффективно структурировать информацию об объектах аренды, контрагентах, договорах и платежах, обеспечивая ее целостность на уровне схемы данных. Использование транзакционного механизма гарантирует согласованность изменений, что критически важно для достоверности данных [3].

Разрабатываемое веб-приложение предназначено для комплексного управления арендными отношениями в торговом центре и сопровождает администрацию и арендаторов на всех этапах взаимодействия – от заключения договора до завершения аренды. При первичной регистрации представитель арендатора создаёт учётную запись и указывает информацию об

организации. Администратор системы проверяет данные и предоставляет доступ к функционалу в соответствии с ролью пользователя.

Ключевым функциональным блоком системы выступает управление договорами аренды. Реализовано централизованное хранение договоров с индикацией статуса (действующий, завершенный, архивный), автоматический мониторинг сроков и оповещения о предстоящем окончании действия. Для каждого договора сохраняются параметры помещения и ключевые условия аренды.

Модуль управления помещениями предоставляет детализированный учёт всего имущественного комплекса торгового центра. Для каждого помещения фиксируются его уникальный номер, этаж, площадь, категория и прочие характеристики. В системе ведётся календарь занятости помещений, позволяющий визуально оценивать загрузку площадей. Администратор может назначать помещению статус «Свободно», «В аренде», «Ремонт» или «Забронировано».

Финансовый блок обеспечивает формирование отчетов, учёт поступлений и контроль задолженности. Пользователь со стороны арендатора получает доступ к информации о произведённых платежах и истории договоров. Администрация торгового центра получает инструменты для формирования отчётности по различным показателям, а визуализация данных в виде таблиц и графиков позволяет проводить анализ и своевременно реагировать на отклонения.

Отдельное внимание уделено обработке заявок и обращений. В системе реализован сервис-деск, позволяющий арендаторам направлять заявки на техническое обслуживание, ремонт или изменение условий эксплуатации помещения. История взаимодействия сохраняется в системе, что обеспечивает контроль качества обслуживания и прозрачность коммуникации.

Информационное взаимодействие между администрацией и арендаторами осуществляется через встроенный модуль уведомлений и сообщений. Система автоматически генерирует оповещения для обеих сторон при наступлении ключевых событий. Дополнительно администрация обладает расширенными возможностями для создания оповещений: доступна как адресная рассылка конкретным арендаторам, так и широковещательные уведомления для всех пользователей системы. Это минимизирует использование разрозненных каналов связи, формирует единое цифровое пространство взаимодействия и гарантирует, что важная информация будет доставлена всем заинтересованным сторонам своевременно.

Интерфейс веб-приложения спроектирован с учётом принципов эргономики и минимизации избыточных действий. Главная панель администратора содержит сводную информацию о количестве активных арендаторов, уровне заполняемости торгового центра и текущей задолженности. Для быстрого доступа к основным разделам предусмотрено меню навигации, включающее разделы «Договоры», «Помещения», «Заявки», «Отчёты», «Профиль». Все ключевые действия сопровождаются понятными формами ввода и контекстными подсказками.

В системе реализована ролевая модель доступа: администратор управляет договорами и финансовыми параметрами, осуществляет контроль платежей, обрабатывает заявки, настраивает уведомления, а арендатор имеет доступ к информации по своим помещениям и договорам, а также к уведомлениям и заявкам. Такой подход обеспечивает разграничение прав и повышает безопасность данных.

При формировании функциональных требований была разработана диаграмма вариантов использования, отражающая основные действия арендатора: регистрация и авторизация, просмотр и составление новых договоров, просмотр заявок, просмотр уведомлений. Диаграмма показана на рисунке 1.

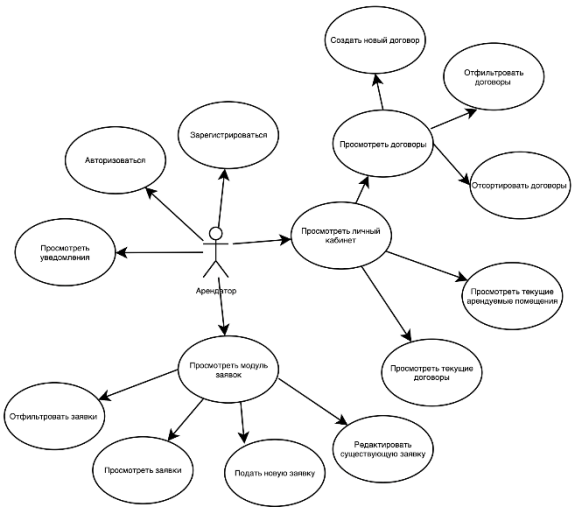


Рисунок 1 - Диаграмма вариантов использования

Диаграмма наглядно показывает функциональные возможности системы, предоставленные арендатору, а также их взаимосвязи.

Заключение. Разработанное веб-приложение для управления арендой помещений торгового центра обеспечивает автоматизацию ключевых бизнес-процессов и повышает прозрачность взаимодействия между арендатором и управляющей компанией. Использование Python и FastAPI на серверной стороне, а также React и TypeScript на клиентской, позволяет создать масштабируемую, производительную и поддерживаемую систему. Применение PostgreSQL гарантирует надёжное хранение и целостность данных.

Система объединяет функции управления договорами, финансового контроля, обработки заявок и информационного взаимодействия, что делает её эффективным инструментом цифровой трансформации процессов аренды коммерческой недвижимости.

Список литературы

1. *FastAPI documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://fastapi.tiangolo.com. Дата доступа: 17.02.2026*

2. *React documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://create-react-app.dev/docs/getting-started. Дата доступа: 17.02.2026*

3. *Документация к PostgreSQL [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://postgrespro.ru/docs/postgresql/current. Дата доступа: 17.02.2026*

UDC 004.774:334.728

WEB APPLICATION FOR MANAGING SHOPPING CENTER PREMISES RENTAL AND ITS ERGONOMIC SUPPORT

Tarasov V.O.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Andrialovich I.V. – Master of Sci., Senior Lecturer of the department of EPE

Annotation. The main functions of a web application for managing retail space rentals in a shopping center are examined. The system automates interactions between tenants and the management company. It provides tools for viewing available premises, concluding and managing lease agreements, monitoring payments, submitting maintenance requests, and analyzing financial performance indicators. Key user scenarios and architectural features of the solution are describe.

Keywords: web application, retail space rental, shopping center, FastAPI, React, TypeScript, PostgreSQL.

УДК 621.3.049.77–048.24:537.2

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ФОРМИРОВАНИЯ, ЗАЩИТЫ И ПЕРЕДАЧИ НАЛОГОВОЙ ОТЧЕТНОСТИ И ЭЛЕКТРОННЫХ СЧЕТ-ФАКТУР

Воронов Г.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Бобровничая М.А. – ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. В условиях цифровизации экономики и ужесточения требований налогового законодательства актуальной становится задача автоматизации документооборота между хозяйствующими субъектами и контролирующими органами. Разрабатываемая информационная система предназначена для автоматизации процессов формирования налоговой отчетности и электронных счет-фактур, обеспечения их криптографической защиты и надежной передачи по телекоммуникационным каналам связи. Внедрение системы позволит минимизировать ошибки «человеческого фактора», сократить время на подготовку отчетов и гарантировать юридическую значимость передаваемых документов.

Ключевые слова: информационная система, налоговая отчетность, электронные счета-фактуры, автоматизация, криптографическая защита, электронный документооборот.

Введение. Современные предприятия независимо от масштаба деятельности обязаны регулярно предоставлять налоговую отчетность и выставлять электронные счета-фактуры. Ручное заполнение форм, использование устаревших шаблонов и передача документов через незащищенные каналы связи создают риски штрафов за ошибки, утечки конфиденциальной информации и потери времени. Переход к полностью электронному взаимодействию с налоговыми органами требует создания специализированных инструментов, которые интегрируют в себе функции подготовки документов, их защиты с помощью электронной цифровой подписи (ЭЦП) и безопасной отправки [1].

Основная часть. Процесс сдачи налоговой отчетности и выставления счет-фактур является критически важным для финансовой деятельности предприятия. Традиционный подход, основанный на использовании офисных приложений и отправке документов по обычной электронной почте, не обеспечивает ни юридической значимости, ни должного уровня защиты [2].

Для решения данной проблемы разрабатывается информационная система, которая автоматизирует полный цикл работы с отчетностью. Первым ключевым компонентом системы является модуль формирования документов. Он содержит актуальные шаблоны всех форм налоговой отчетности и структуры электронных счет-фактур в соответствии с последними изменениями законодательства (XML-схемы). Система позволяет автоматически подгружать данные из учетных систем предприятия (бухгалтерского или складского учета) для заполнения полей, что сводит к минимуму риск арифметических или синтаксических ошибок [3].

Вторым важнейшим компонентом является модуль криптографической защиты. Поскольку налоговая отчетность и счета-фактуры относятся к документам строгой отчетности, они должны быть подписаны ЭЦП уполномоченного лица. Данный модуль интегрируется с криптопровайдерами, позволяя накладывать усиленную квалифицированную подпись, шифровать документы при необходимости и проверять целостность подписи получателем. Это гарантирует подлинность документа и защиту от несанкционированного доступа в процессе передачи [4].

Третьим функциональным блоком выступает модуль передачи и обмена. Он обеспечивает подключение к защищенным каналам связи налоговых органов. Система автоматически отправляет подготовленные пакеты документов, отслеживает статусы их доставки (извещения о получении, квитанции о подтверждении даты отправки) и сохраняет всю историю обмена. В случае сбоев связи предусмотрен механизм автоматических повторных попыток отправки [4].

Внедрение такой системы на предприятии дает ряд существенных преимуществ. Во-первых, это снижение трудозатрат бухгалтерии и финансового отдела за счет автоматического формирования рутинной отчетности. Во-вторых, минимизация налоговых рисков: система проверяет документ на соответствие формату до отправки, исключая отказы в приеме отчетности. В-третьих, обеспечение безопасности: использование криптографии гарантирует, что документ не будет изменен или прочитан третьими лицами. Кроме того, централизованное хранение всех подписанных документов и протоколов обмена создает прозрачный и проверяемый архив.

Заключение. Таким образом, разрабатываемая информационная система автоматизации формирования, защиты и передачи налоговой отчетности и электронных счет-фактур является актуальным инструментом для современного предприятия. Она объединяет в себе функции подготовки документов в строгом соответствии с требованиями законодательства, их надежной криптографической защиты и гарантированной доставки в контролирующие органы. Использование такой системы повышает эффективность работы финансовых служб, обеспечивает информационную безопасность и способствует снижению штрафных санкций, что в условиях цифровой трансформации экономики является необходимым условием для стабильной деятельности организации.

Список литературы

1. *Ковалев, М.М. Цифровая трансформация экономики/ М.М. Ковалев, Г.Г. Головенчик, А.А. Лисовский. Минск: Издательский центр БГУ, 2020.*

2. *Электронный документооборот в бухгалтерском учете: проблемы перехода [Электронный ресурс] / Ю.А. Голубцова, Н.А. Калуцкая // Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/elektronnyy-dokumentooborot-v-buhgalterskom-uchete-problemy-perehoda. Дата доступа: 20.02.2026.*

3. *Электронные счета-фактуры [Электронный ресурс] // Режим доступа: https://nalog.gov.by/actual/el_invoices/. Дата доступа: 01.03.2026.*

4. *Тимофеев, А. М. Криптографическая защита информации : учеб.-метод. пособие / А. М. Тимофеев. – Минск : БГУИР, 2020.*

UDC 621.3.049.77–048.24:537.2

INFORMATION SYSTEM FOR AUTOMATION OF FORMATION, PROTECTION AND TRANSMISSION OF TAX REPORTING AND ELECTRONIC INVOICES

Voranau H.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Bobrovnichaya M.A. – Senior Lecturer at the Department of EPE

Annotation. In the context of the digitalization of the economy and tightening requirements of tax legislation, the task of automating document flow between business entities and regulatory authorities becomes relevant. The developed information system is designed to automate the processes of generating tax reports and electronic invoices, ensuring their cryptographic protection, and reliable transmission via telecommunication channels. The implementation of the system will minimize «human factor» errors, reduce the time spent on preparing reports, and guarantee the legal significance of transmitted documents.

Keywords: information system, tax reporting, electronic invoices, automation, cryptographic protection, electronic document management.

УДК 004.9:005.93

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ БРОНИРОВАНИЯ КОВОРКИНГОВ И РАБОЧИХ МЕСТ В ЧАСТНОЙ КОМПАНИИ

Якименко Н.Д.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Пилиневич Л. П. – д. т. н., профессор кафедры ИПиЭ

Аннотация. Рассмотрены современные веб-приложения для бронирования коворкингов и рабочих мест в условиях гибридного формата занятости. Проведён сравнительный анализ корпоративных систем desk booking и платформ внешних гибких пространств по критериям пользовательского удобства, функциональности, интеграций, уведомлений, аналитики и ценовых моделей. Сформулированы ключевые требования к разработке собственного веб-приложения, включая поддержку карт и фильтрации, механизмы check-in, уведомления, базовую аналитику и интеграцию с корпоративными сервисами.

Ключевые слова: веб-приложение, бронирование рабочих мест, коворкинг, гибридный формат работы, desk booking, корпоративные сервисы, уведомления, check-in, аналитика, гибкие офисные пространства.

Введение. Переход организаций к гибридным моделям занятости существенно изменил подход к использованию офиса: рабочие места и переговорные всё чаще рассматриваются как разделяемый ресурс, а посещение офиса требует предварительной координации. Даже при формальном возврате сотрудников в офис значительная часть команд сохраняет распределённый формат работы. По данным Gallup, для удалённо-пригодных должностей в США преобладает гибридный формат занятости 52%, а полностью удалённо работают 26% сотрудников, что подтверждает устойчивость смешанных режимов труда и необходимость управлять офисным присутствием как переменной величиной [1].

Основная часть. В этих условиях веб-приложения для бронирования рабочих мест и коворкингов становятся важным элементом цифровой инфраструктуры. Для сотрудников они сокращают транзакционные издержки, переводя выбор места, проверку доступности, навигацию по плану и получение уведомлений в единый цифровой сценарий. Для административных функций такие решения обеспечивают управляемость распределения мест, контроль фактического использования, автоматическое высвобождение ресурсов при неявке и аналитику загрузки. Аналогичная логика прослеживается и в решениях крупных поставщиков офисного ПО: Microsoft Places описывает напоминания об отсутствии бронирования, поиск рабочих мест по карте и отображение сведений об оборудовании [2]. Дополнительную значимость теме придаёт рост популярности гибких офисных пространств. Материалы JLL подчёркивают развитие flex-офисов и модели «пространство как услуга», вследствие чего частная компания всё чаще нуждается не только во внутреннем бронировании рабочих мест, но и в доступе к внешним площадкам для сотрудников в разных городах [3].

Для сравнительного анализа уместно различать два класса решений. Первый класс составляют корпоративные системы desk booking, ориентированные на сотрудников и офисы конкретной компании. Второй класс образуют платформы бронирования внешних пространств, функционирующие как маркетплейс или сеть партнёрских площадок. В качестве аналогов выбраны Envoy [2], Robin [4], Eptura, включая Eptura Engage и ранее Condeco [5], а также платформы Deskpass [4] и LiquidSpace [6], по которым доступна публичная документация и независимые пользовательские оценки [7]. Сравнение основано на критериях, отражающих типовые пользовательские и административные задачи: удобство интерфейса, регистрация и авторизация, поиск и фильтрация, процесс бронирования, карты и геолокация, отображение доступности, ценовые модели, отзывы, уведомления, мобильная адаптация, а также аналитика, делегирование и интеграции. Источниками послужили официальные страницы продуктов и справочные центры, а для оценки пользовательского восприятия

использованы Capterra [8], GetApp [6] и Software Advice [7]. При этом рейтинги следует интерпретировать с учётом различий в выборках и того, что часть отзывов отражает не только повседневное использование, но и опыт внедрения [9].

Корпоративные системы бронирования рабочих мест строятся вокруг трёх базовых сущностей: сотрудника, пространства и времени. Поэтому качество пользовательского опыта определяется тем, насколько быстро выполняются вход в систему, поиск подходящего места, бронирование и подтверждение фактического использования. В отличие от публичных сервисов такие решения ориентированы на корпоративную авторизацию и централизованное управление учётными записями. В Envoy интеграция с Microsoft Entra ID описывается как механизм синхронизации каталога сотрудников и поддержки SSO на базе SAML 2.0, что упрощает онбординг и офбординг [6]. Robin также поддерживает SSO через SAML и SCIM для управления жизненным циклом пользователей и групп [10]. Для Eptura Engage подчёркиваются корпоративная направленность, мобильное приложение сотрудника и единое приложение для планирования командных дней и навигации по офису [5].

Пользовательские оценки подтверждают различия в ориентации этих продуктов. У Envoy в Capterra показатель удобства использования достигает 4.8, что указывает на стремление к сценарию самообслуживания сотрудников [9]. У Robin в GetApp общий рейтинг и удобство использования составляют 4.7, что согласуется с позиционированием продукта как повседневного инструмента для бронирования через веб, мобильное приложение и календарные интеграции [11]. У Condeco в экосистеме Eptura средний рейтинг на Software Advice ниже, около 3.9, а удобство использования оценивается примерно в 4.1, что может быть связано с большей сложностью enterprise-внедрения и зависимостью UX от корректности конфигурации [12].

Ключевое значение в корпоративных системах имеют поиск и фильтрация. Envoy использует визуальную модель плана офиса, атрибуты рабочего места и отображение расположения коллег [6]. Robin делает акцент на интерактивной карте офиса и бронировании непосредственно с плана, что сокращает количество шагов в сценарии быстрого выбора места [10]. Eptura Engage предлагает фильтрацию по локации, типу места и оснащению рабочего места, что важно в случаях, когда сотруднику требуется определённая конфигурация, например монитор, док-станция или тихая зона [5].

Сам процесс бронирования в корпоративных продуктах обычно дополняется политиками и автоматизацией. Envoy предлагает единый интерфейс для бронирования столов, переговорных и парковки, а также умные напоминания и автоосвобождение мест при неявке [6]. Для корпоративных сценариев важна и возможность бронирования от имени сотрудников [6]. Robin поддерживает уведомления и напоминания о check-in, включая push-уведомления и интеграции с рабочими инструментами [10]. Eptura Engage выделяет автоматизацию check-in через пропускные системы и датчики занятости, а также аналитику востребованности пространств [5]. Дополнительно возрастает роль уведомлений как части управляемой рабочей среды. Envoy поддерживает email, SMS, push и интеграции с мессенджерами [6], Robin позволяет настраивать уведомления на уровне пользователя и администратора [10], а Eptura Engage рассматривает мобильные уведомления как элемент командного взаимодействия [5].

С административной точки зрения корпоративные решения различаются глубиной сервисного контура. Envoy акцентирует замену разрозненных инструментов единым контуром бронирования и превращение событий бронирования в аналитику посещаемости [6]. Robin, по данным GetApp, сочетает карты, аналитику использования и аппаратные сценарии визуализации доступности [10]. Eptura Engage расширяет бронирование сервисами для посетителей, кейтеринга и AV-поддержки, что может быть преимуществом для сложных офисных сценариев, но одновременно повышает сложность администрирования [5].

Платформы внешних пространств решают иную задачу: предоставить сотруднику рабочее место вне корпоративного офиса при сохранении контроля расходов и качества. Deskpass предлагает сценарии Instant Workspace и Teams, позволяя бронировать столы, переговорные и офисы в сети площадок в разных городах. На публичных страницах продукт описывается формулой «search, book, check-in», что подчёркивает ориентированность на быстрый и предсказуемый пользовательский путь [7]. LiquidSpace позиционируется шире: как

платформа доступа к пространствам по запросу и одновременно инструмент управления гибридными программами и корпоративной недвижимостью [4].

Регистрация в системах внешних пространств обычно проще, чем в корпоративных приложениях. LiquidSpace допускает создание аккаунта через email, LinkedIn и Google, а также управление бронированиями, рейтингами и платёжными данными в личном кабинете [4]. Deskpass предлагает упрощённый онбординг через выбор подходящего плана и ввод персональных данных. Для частной компании это означает более низкий порог входа для пользователя, но более слабую связь с корпоративной идентичностью по сравнению с SSO-моделью [7].

Поиск в таких платформах строится прежде всего вокруг географии и характеристик пространства. Deskpass подчёркивает наличие локаций рядом с пользователем или в выбранном городе и отображение доступности каждой площадки [7]. LiquidSpace делает акцент на поиске пространства в конкретном городе, просмотре материалов, избранном и связи с владельцами площадок [4]. В отличие от корпоративных систем, где карта помогает выбрать место внутри офиса, здесь геолокация становится основным механизмом поиска самого пространства [2].

Существенным критерием выступает и характер бронирования. Для Deskpass преобладает сценарий мгновенной резервации и check-in, что особенно важно при спонтанной потребности в рабочем месте [7]. LiquidSpace предполагает более управляемый процесс, при котором оператор пространства получает запросы и администрирует бронирования через портал, что в ряде случаев означает необходимость подтверждения. Для корпоративного пользователя это создаёт компромисс между скоростью бронирования и контролем со стороны площадки [4].

Ценовые модели внешних платформ ближе к электронной коммерции. Deskpass использует pay-as-you-go без долгосрочных обязательств, что удобно для компаний с неравномерным спросом. В версии Deskpass Teams акцентируются бюджетные ограничения, консолидированное выставление счетов и отчётность [7]. LiquidSpace, напротив, интегрирует платёжные механизмы в более широкий корпоративный контур, а сведения о цене на Software Advice указываются как предоставляемые по запросу, что типично для B2B-решений с кастомизацией [8]. Значимым элементом доверия становятся и отзывы. Для LiquidSpace на Software Advice представлен общий рейтинг 4.6 и удобство использования 4.7 [8]. Для Deskpass отзывы доступны в магазинах приложений и в основном подчеркивают удобство поиска и бронирования, хотя такие оценки скорее иллюстрируют восприятие интерфейса, чем дают формальную характеристику качества сети площадок [7].

Сравнение аналогов позволяет выделить несколько устойчивых тенденций. Во-первых, развивается модель единого окна управления ресурсами. Envoy прямо связывает бронирование столов, переговорных и парковки с аналитикой посещаемости [6], а Microsoft Places показывает ту же интеграционную логику в связке с календарём и напоминаниями [2]. Во-вторых, визуализация доступности становится обязательным UX-стандартом. Карты, планы этажей и фильтры по атрибутам рабочего места присутствуют у Envoy [6], Robin [10] и Eptura Engage [5], поэтому текстового списка мест для современного решения уже недостаточно [2]. В-третьих, усиливается автоматизация дисциплины использования через check-in, напоминания и auto-release. Эту логику демонстрируют Envoy [6], Microsoft Places [2] и Eptura Engage [5], что показывает необходимость включать в проектирование не только сам интерфейс бронирования, но и механизм подтверждения фактического присутствия [6]. В-четвёртых, возрастает значение многоканальных уведомлений и интеграции в рабочие коммуникации. Envoy поддерживает email, SMS, push и интеграции [6], Robin формализует настройку уведомлений [10], что делает уведомления управляемой системой событий, а не второстепенной функцией. В-пятых, заметно усиливается роль данных и аналитики. Envoy использует данные бронирований для корректировки политик и планировок [6], Robin предоставляет аналитические показатели использования [10], а LiquidSpace связывает аналитику с оптимизацией стоимости и загрузки пространств [8]. Наконец, формируется гибридная экосистема пространств, в которой внутренние офисы дополняются внешними площадками. Deskpass Teams предлагает для этого бюджеты, консолидированный биллинг и отчётность [7], а LiquidSpace сочетает доступ к on-demand пространствам с управлением

гибридными программами [4]. Рост спроса на flex-офисы, фиксируемый JLL, делает такую модель всё более распространённой [3].

Заключение. Анализ показывает, что современные системы бронирования рабочих мест стали комплексными инструментами управления офисной средой. Корпоративные решения сильны в интеграции, автоматизации и аналитике, а внешние платформы расширяют доступ к гибким пространствам, но обычно дополняют внутренние системы, а не заменяют их [7], [4]. Поэтому при разработке собственного веб-приложения ключевыми остаются интеграции, визуализация доступности мест, уведомления, check-in и базовая аналитика [6].

Список литературы

1. *Gallup. Indicator: Hybrid Work [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.gallup.com/401384/indicator-hybrid-work.aspx. – Дата доступа: 13.03.2026.*

2. *Microsoft. AI brings new life to flexible work with Microsoft Places [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.microsoft.com/en-us/microsoft-365/blog/2024/05/13/ai-brings-new-life-to-flexible-work-with-microsoft-places/. – Дата доступа: 13.03.2026.*

3. *JLL. Space as a Service: Flexible Office Space in 2024 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.jll.com/en-au/insights/space-as-a-service-flexible-office-space-in-2024. – Дата доступа: 13.03.2026.*

4. *Envoy. Resource Booking; Hot Desk Booking Software; Microsoft Entra ID Integration; Desks; About Envoy Notifications [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://envoy.com/products/resource-booking ; https://envoy.com/products/hot-desk-booking-software ; https://envoy.com/integrations/microsoft-entra-id ; https://envoy.help/en/collections/2602507-desks ; https://envoy.help/en/articles/10361816-about-envoy-notifications. – Дата доступа: 13.03.2026.*

5. *Robin. Enabling single sign-on via SAML 2.0; Manage your notifications; Manage your desk check-in notifications; Robin Powered [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://support.robinpowered.com/hc/en-us/articles/205893636-Enabling-single-sign-on-via-SAML-2-0 ; https://support.robinpowered.com/hc/en-us/articles/15273883828365-Manage-your-notifications ; https://support.robinpowered.com/hc/en-us/articles/37556522497165-Manage-your-desk-check-in-nontifications ; https://www.getapp.com/operations-management-software/a/robin-powered/ ; https://play.google.com/store/apps/details?hl=en_US&id=com.robinpowered.compass. – Дата доступа: 13.03.2026.*

6. *Eptura. Eptura Engage; Desk Booking Software; Planning Collaboration; Condeco [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://eptura.com/our-platform/eptura-engage/ ; https://eptura.com/our-platform/workplace-experience-software/desk-booking-software/ ; https://eptura.com/our-platform/workplace-experience-software/planning-collaboration/ ; https://eptura.com/condeco/. – Дата доступа: 13.03.2026.*

7. *Deskpass. Deskpass; Teams; Pricing; Deskpass App [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.deskpass.com/ ; https://www.deskpass.com/solutions/teams ; https://www.deskpass.com/pricing ; https://apps.apple.com/us/app/deskpass/id1006748184 ; https://apps.apple.com/nz/app/deskpass/id1006748184. – Дата доступа: 13.03.2026.*

8. *LiquidSpace. LiquidSpace; Mobile; How it Works; Signing Up [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://liquidspace.com/ ; https://liquidspace.com/mobile ; https://liquidspace.com/how-it-works ; https://support.liquidspace.com/hc/en-us/articles/204395355-Signing-up. – Дата доступа: 13.03.2026.*

9. *Capterra. Envoy [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.capterra.com/p/143721/Envoy/. – Дата доступа: 13.03.2026.*

10. *GetApp. Robin Powered [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.getapp.com/operations-management-software/a/robin-powered/. – Дата доступа: 13.03.2026.*

11. *Software Advice. Condeco Desk Booking Software Profile [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.softwareadvice.com/project-management/condeco-desk-booking-software-profile/. – Дата доступа: 13.03.2026.*

12. *Software Advice. Workplace Manager Profile [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.softwareadvice.com/meeting-room/workplace-manager-profile/. – Дата доступа: 13.03.2026.*

UDC 004.9:005.93

COMPARATIVE ANALYSIS OF WEB APPLICATIONS FOR BOOKING COWORKING SPACES AND WORKPLACES IN A PRIVATE COMPANY

Yakimenko N.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Pilinevich L. P. – Dr. of Sci. (Tech.), Professor at the Department of EPaE

Annotation. Modern web applications for booking coworking spaces and workplaces in the context of hybrid employment are considered. A comparative analysis of corporate desk booking systems and external flexible workspace platforms is carried out according to the criteria of user convenience, functionality, integrations, notifications, analytics, and pricing models. The key requirements for developing a proprietary web application are formulated, including support for maps and filtering, check-in mechanisms, notifications, basic analytics, and integration with corporate services.

Keywords: web application, workplace booking, coworking, hybrid work format, desk booking, corporate services, notifications, check-in, analytics, flexible office spaces.

УДК 004.932:004.42

КОНВЕЙЕР ОБРАБОТКИ ПОЗЫ И НОРМАЛИЗАЦИЯ КООРДИНАТ В AR-ПРИЛОЖЕНИИ ДЛЯ ВИРТУАЛЬНОЙ ПРИМЕРКИ ОДЕЖДЫ

Заяц А.А.

Национальный детский технопарк, г. Минск, Республика Беларусь

Научные руководители: Прудник А.М. – к. т. н, доцент кафедры ИПиЭ;
Ильясова М.С. – магистр техн. наук, ассистент кафедры ИПиЭ

Аннотация. Рассмотрена архитектура конвейера обработки видеокадров в Android-приложении для виртуальной примерки одежды. Описаны методы нормализации координат ключевых точек тела, обеспечивающие корректное отображение 3D-моделей на устройствах с различным разрешением экрана. Приведены результаты тестирования на нескольких моделях смартфонов.

Ключевые слова: дополненная реальность, распознавание позы, нормализация координат, скелетная анимация, CameraX, ML Kit, Kotlin, Android.

Введение. Технологии дополненной реальности (AR) постепенно занимают своё место в розничной торговле, позволяя покупателю оценить товар до покупки [1]. Главная техническая сложность при переносе AR на мобильные устройства – огромный разброс экранных разрешений и пропорций. Нейросеть выдаёт координаты ключевых точек тела в пикселях конкретного кадра, и если не привести их к единой системе, виртуальная одежда на одном телефоне будет позиционироваться корректно, а на другом – сместится относительно фигуры пользователя.

Существующие сервисы, например IDM VTON [2], обрабатывают изображение на удалённом сервере, что порождает заметную задержку и не поддерживают взаимодействие в реальном времени. В настоящей статье описывается локальный конвейер обработки видеопотока, реализованный в приложении виртуальной примерочной для магазина с атрибутикой Минского автомобильного завода (МАЗ) [3]. Особое внимание уделено алгоритму нормализации двумерных координат и их проецированию на скелет 3D-модели одежды.

Основная часть. В качестве среды разработки использовалась Android Studio, язык программирования – Kotlin. Альтернативный вариант на базе движка Unity был отвергнут из-за дополнительных накладных расходов при обращении к камере. Графический интерфейс реализован средствами декларативного фреймворка Jetpack Compose [4], который заменил классическую XML-разметку экранов и упростил управление состояниями. Внешний вид главного экрана приложения показан на рисунке 1.



Рисунок 1 – Пользовательский интерфейс приложения

Обработка каждого кадра проходит три последовательных этапа. На первом этапе класс CameraXViewModel формирует два объекта UseCase из библиотеки CameraX [5]: Preview для предварительного просмотра и ImageAnalysis для анализа кадров. ImageAnalysis использует стратегию KEEP_ONLY_LATEST, а выбор разрешения делегирован ResolutionSelector. Метод bindToCamera связывает оба UseCase с жизненным циклом Activity.

На втором этапе кадр поступает в класс AndroidPoseDetector – обёртку над библиотекой Google ML Kit Pose Detection [6]. В зависимости от источника изображения детектор работает в режиме STREAM_MODE (камера) или SINGLE_IMAGE_MODE (фотография из галереи). Метод processImage преобразует входной PlatformImage в формат InputImage с учётом поворота сенсора и запускает асинхронный анализ. Результатом является массив ключевых точек тела – плечи, локти, бёдра – с координатами в пикселях исходного кадра.

Третий этап – нормализация координат. Пиксельные значения напрямую зависят от физического разрешения камеры, и без пересчёта позиция 3D-модели оказывается некорректной на устройствах с иным соотношением сторон. В функции convertToBones рассчитывается вектор масштабирования maxValue: его компоненты x и y равны отношению фиксированных опорных констант к ширине и высоте кадра соответственно. Далее координаты каждой точки покомпонентно умножаются на maxValue, а компонента z обнуляется, поскольку наложение одежды происходит в плоскости камеры.

Для определения положения виртуальной футболки вспомогательная функция average вычисляет среднее двух трёхмерных точек, что позволяет получить центр плечевого пояса и центр бёдер. Угол наклона корпуса находится функцией calculateAngle: она принимает две точки, рассчитывает арктангенс отношения разности их y-координат к разности x-координат, добавляет смещение 90° и переводит результат в радианы. Полученные значения Position и Rotation передаются движку SceneView [7], который в режиме реального времени деформирует скелет 3D-модели футболки (рисунок 2).

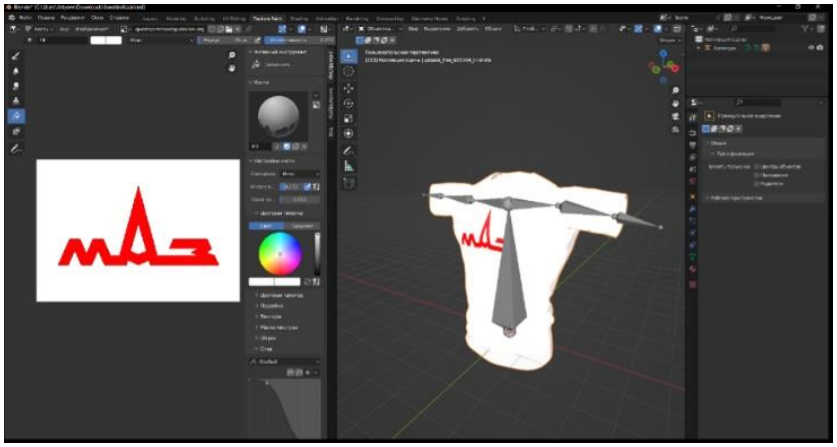


Рисунок 2 – 3D-модель футболки с атрибутикой МАЗ и встроенный скелет в среде Blender

Трёхмерные модели футболок подготовлены в редакторе Blender, выбранном благодаря открытому исходному коду и удобным средствам настройки скелетной анимации. Каждая модель содержит иерархию костей: корневая кость устанавливается в центр торса, а дочерние кости отвечают за плечи и нижнюю часть. При поступлении новых данных от нейросети корневая кость перемещается, а дочерние поворачиваются на вычисленные углы, что обеспечивает визуально плавную деформацию ткани.

Тестирование проводилось на трёх устройствах с разрешениями экрана 1080×2400, 1080×2340 и 720×1600 пикселей. Без нормализации горизонтальное отклонение модели от ожидаемого положения достигало 18 %, вертикальное – 12 %. Наибольшая погрешность наблюдалась на устройстве с разрешением 720×1600, имеющем нестандартное соотношение сторон 20:9. После внедрения описанного коэффициентного пересчёта максимальное отклонение не превысило 2 % ни на одном из устройств. Среднее время обработки одного кадра составило около 35 мс, что соответствует частоте обновления приблизительно 28 кадров

в секунду – этого достаточно для визуально плавного наложения одежды при типичных движениях пользователя перед камерой.

Дополнительно было отмечено, что точность распознавания ключевых точек заметно зависит от условий освещённости и расстояния пользователя до камеры. При слабом освещении детектор ML Kit периодически терял отдельные точки на один-два кадра, из-за чего 3D-модель кратковременно дёргалась. Для смягчения этого эффекта в конвейер был добавлен промежуточный буфер, который сохраняет координаты последнего успешного распознавания и подставляет их вместо отсутствующих данных. Оптимальная дистанция между пользователем и устройством в ходе экспериментов составила от 50 до 120 сантиметров: при меньшем расстоянии фигура выходила за границы кадра, при большем – падала детализация точек и ухудшалась точность наложения. Данное ограничение было учтено в интерфейсе приложения: пользователю выводится текстовая подсказка с просьбой отойти или приблизиться к камере. Кроме того, на устройствах с фронтальной камерой разрешением ниже 5 мегапикселей время обработки возрастало до 42 мс на кадр, что тем не менее оставалось в допустимых пределах для комфортного использования.

Заключение. В работе представлен трёхэтапный конвейер обработки видеопотока для мобильного AR-приложения виртуальной примерки одежды с атрибутикой МАЗ. Коэффициентная нормализация координат снизила ошибку позиционирования 3D-модели с 18 % до 2 % при смене устройства. Связка библиотек CameraX, ML Kit и SceneView обеспечивает задержку около 35 мс на кадр, достаточную для комфортного восприятия. Предложенный подход может быть перенесён на другие категории товаров, включая головные уборы и аксессуары, при условии дополнения модели соответствующими ключевыми точками. В дальнейшем планируется реализовать временно́й фильтр координат для подавления колебаний модели, расширить каталог доступной атрибутики предприятия, а также добавить функцию экспорта снимков примерки в социальные сети.

Список литературы

1. *Kipper G. Augmented Reality / G. Kipper, J. Rampolla. – Waltham: Syngress, 2013. – 176 p.*

2. *Прорывная технология IDM VTON [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://idmvton.com/ru. Дата доступа: 01.03.2026.*

3. *Пальчевский, М. Д. Мобильное приложение для виртуальной примерки одежды с использованием ar-технологий = Mobile application for virtual fitting of clothes using ar-technology / М. Д. Пальчевский, А. А. Заяц, К. Р. Лыфарь // Электронные системы и технологии : сборник материалов 61-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 21–25 апреля 2025 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: Д. В. Лихаческий [и др.]. – Минск, 2025. – С. 539–541.*

4. *Jetpack Compose [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://developer.android.com/compose. Дата доступа: 01.03.2026.*

5. *Официальная документация CameraX [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://developer.android.com/media/camera/camerax/overview. Дата доступа: 01.03.2026.*

6. *ML-Kit Pose Detection [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://developers.google.com/ml-kit/vision/pose-detection. Дата доступа: 01.03.2026.*

7. *SceneView Android [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://github.com/SceneView/sceneview-android. Дата доступа: 01.03.2026.*

UDC 004.932:004.42

POSE ESTIMATION PIPELINE AND COORDINATE NORMALIZATION IN AN AR APPLICATION FOR VIRTUAL CLOTHING FITTING

Zayats A.A.

National Children's Technopark, Minsk, Republic of Belarus

Prudnik A.M. – Cand. of Sci. (Tech.), Associate Professor at the Department of EPE;
Ilyasova M.S. – M.Sc. (Tech.), Assistant at the Department of EPE

Annotation. The architecture of a video frame processing pipeline in an Android application for virtual clothing fitting is described. Body landmark coordinate normalization methods ensuring correct 3D model rendering on devices with varying screen resolutions are presented. Test results on several smartphone models are provided.

Keywords: augmented reality, pose estimation, coordinate normalization, skeletal animation, CameraX, ML Kit, Kotlin, Android.

УДК 004.774:659.1

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ПО СОЗДАНИЮ МАРКЕТИНГОВОЙ СТРАТЕГИИ И РЕКЛАМЫ И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Жигало В.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Телеш И.А. – к. г. н., доцент, доцент кафедры ИПиЭ

Аннотация. В работе представлена разработка веб-приложения для создания маркетинговой стратегии и управления рекламными бюджетами в цифровых рекламных платформах. Система обеспечивает автоматизацию пополнения рекламных кабинетов и обновления статистики рекламных кампаний. Реализован личный кабинет пользователя для управления рекламными аккаунтами, просмотра статистики рекламных кампаний и отправки материалов на премодерацию. Разработанное веб-приложение способствует упрощению управления рекламой и повышению прозрачности финансовых операций.

Ключевые слова: веб-приложение, цифровая реклама, рекламные кампании, автоматизация, AdBilling.

Введение. Интернет-реклама один из ключевых инструментов продвижения товаров и услуг. Современные компании активно используют рекламные платформы, такие как Google Ads, Meta Ads и TikTok Ads, для привлечения клиентов и увеличения продаж [1]. Однако управление рекламными бюджетами и взаимодействие с несколькими рекламными сервисами связано с некоторыми трудностями, включая необходимость проведения валютных операций, анализа статических данных и соблюдения требований рекламных платформ.

Разработанная система представляет собой веб-приложение «AdBilling», предназначенное для автоматизации процессов управления рекламой. В системе реализован личный кабинет пользователя, позволяющий управлять рекламными аккаунтами, просматривать статистику рекламных кампаний и отправлять рекламные материалы на премодерацию. Использование единой платформы позволяет упростить управление рекламой и обеспечить удобное взаимодействие пользователя с системой.

Основная часть. При проектировании веб-приложения для создания маркетинговой стратегии и рекламы учитывались особенности работы пользователей с рекламными платформами. При запуске и анализе рекламных кампаний пользователю необходимо работать с финансовыми операциями, статистическими показателями и настройками рекламных аккаунтов [2]. Большое количество информации и действий усложняет процесс работы. В связи с этим, при разработке системы особое внимание уделялось логичности интерфейса, последовательности пользовательских действий и удобству навигации [3].

Разработанная система «AdBilling» предназначена для объединения основных операций, связанных с управлением рекламой, в одном веб-приложении. Пользователь получает доступ к личному кабинету, где может просмотреть баланс и историю операций, а также управлять подключёнными рекламными аккаунтами. Кроме того, система предоставляет возможность отправки рекламных материалов на предварительную проверку администраторами, что позволяет снизить риск блокировки рекламных кампаний из-за несоответствия правилам рекламных платформ [4].

Важной функцией разработанного веб-приложения является поддержка операции расчёта стоимости пополнения рекламного бюджета. Пользователь вводит сумму платежа и выбирает рекламную платформу, после чего система автоматически выполняет расчёт с учётом курса валют и комиссии. После подтверждения операции создается заявка на пополнение рекламного аккаунта, а информация о платеже сохраняется в базе данных и отображается в истории транзакций пользователя.

Для реализации разработанной системы выбран набор современных веб-технологий. Пользовательский интерфейс создаётся с применением языков разметки и стилей HTML и CSS, которые определяют структуру и внешний вид страниц [5]. Язык JavaScript применяется

для реализации интерактивных элементов интерфейса и обработки действий пользователя. Серверная часть веб-приложения разработана на языке программирования C# с использованием платформы ASP.NET [6]. В качестве системы управления базами данных используется SQL Server, обеспечивающий хранение информации о пользователях, рекламных аккаунтах и финансовых операциях. Применение данного технологического стека позволило создать надёжное и масштабируемое веб-приложение для управления рекламными кампаниями.

Заключение. Разработанное веб-приложение «AdBilling» предназначено для автоматизации управления рекламой и взаимодействия пользователей с популярными рекламными платформами. Реализация единого личного кабинета позволяет централизованно выполнять финансовые операции, управлять рекламными аккаунтами и просматривать статистику рекламных кампаний. Использование технологий HTML, CSS, JavaScript, C#, а также системы управления базами данных SQL Server обеспечивает функциональность интерфейса, обработку пользовательских запросов и надёжное хранение данных. Разработанное веб-приложение упрощает процесс работы с рекламными сервисами и помогает эффективно управлять рекламными кампаниями.

Список литературы

1. *Comparative Analysis of Advertising Platforms: Google, Meta, and TikTok [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.adquadrant.com/resources/comparative-analysis-of-advertising-platforms-google-meta-and-tiktok. Дата доступа: 27.02.2026*

2. *Реклама в TikTok – запуск и возможности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://holostenko.ua/smm/tiktok. Дата доступа: 27.02.2026*

3. *Эргономичность пользовательских web-интерфейсов через призму юзабилити [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/ergonomichnost-polzovatelskih-web-interfeysov-cherez-prizmu-yuzabiliti/viewer. Дата доступа: 27.02.2026*

4. *Нормы рекламной деятельности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://transparency.meta.com/ru-ru/policies/ad-standards/. Дата доступа: 27.02.2026*

5. *Язык гипертекстовой разметки HTML [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://kunegin.com/ref3/ap_ip4/html.htm/. Дата доступа: 27.02.2026*

6. *Введение в ASP.NET Core [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://metanit.com/sharp/aspnet6/1.1.php. Дата доступа: 27.02.2026*

UDC 004.774:659.1

WEB APPLICATION FOR CREATING MARKETING STRATEGY AND ADVERTISING AND ITS ERGONOMIC SUPPORT

Zhyhala V.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Department Telesh I.A. – Cand. of Sci., Associate Professor, Associate Professor of the Department of EPE

Annotation. The work presents the development of a web application for creating a marketing strategy and managing advertising budgets on digital advertising platforms. The system automates the replenishment of advertising accounts and updates advertising campaign statistics. A user dashboard is provided for managing advertising accounts, viewing advertising campaign statistics, and submitting materials for pre-moderation. The developed web application simplifies advertising management and increases the transparency of financial transactions.

Keywords: web application, digital advertising, advertising campaigns, automation, AdBilling.

УДК 614.841.3:621.3

ФЛАЖКОВЫЙ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО АКТИВАТОРА ХИМИЧЕСКОГО ОГНЕТУШИТЕЛЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Дулебенец Д.М. Ковалик Д.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Телеш И.А. – к.г.н., доцент, доцент кафедры ИПиЭ

Аннотация. Предложена конструкция в виде флажкового предохранителя с пружинным механизмом для электромеханического активатора химического огнетушителя в целях локального подавления очага возгорания непосредственно на уровне печатных плат и элементов электрических цепей в электронном оборудовании.

Ключевые слова: пожарная безопасность, флажковый предохранитель с пружинным механизмом, электромеханический активатор.

Введение. Обеспечение пожарной безопасности является важным условием надежной и безопасной работы промышленных объектов.

Средства пожаротушения – это комплекс технических устройств для локализации или ликвидации пожара. Они делятся на стационарные установки, среди которых автоматические или ручные: водяные, газовые, порошковые, аэрозольные. Однако, например, применение водяных систем пожаротушения на объектах, работающих с электронным оборудованием, ограничено из-за риска повреждения такого оборудования.

В связи с этим актуальной задачей является разработка компактных устройств, обеспечивающих локальное подавление очага возгорания непосредственно в зоне его возникновения, например, на печатных платах или в блоках электропитания. Одним из решений данной задачи является применение электромеханического активатора – устройства, предназначенного для приведения в действие химического огнетушителя за счёт преобразования электрического сигнала в механическое воздействие, инициирующее высвобождение огнетушащего вещества. Использование таких активаторов позволяет обеспечить быстрое и адресное срабатывание системы пожаротушения непосредственно в месте возникновения пожара.

Основная часть. Уже существующие электромеханические активаторы в виде плавких трубок и пакетов с реактивом, способны переплавляться непосредственно в начале горения и взаимодействии с открытым огнём, а также при достижении небольших по значению температур (<80^{0}C) [1]. Разработанная схема флажкового предохранителя с пружинным механизмом для химического огнетушителя предполагает срабатывание механизма уже в момент перегорания предохранителя и засыпания или заполнения газом CO_2 области с возможным источником возгорания.

Флажковый предохранитель с пружинным механизмом изображен на рисунке 1. Принцип работы предполагаемого устройства **основан** на использовании простого предохранителя, содержащего плавкую проволоку, которая перегорает при превышении допустимой силы тока (температура 200 – 600 °C). Ввиду высокой температуры таких элементов становится невозможной установка стандартных или уменьшенных копий уже существующих автоматических огнетушителей.

Как показано на рисунке 1, боёк – 1, пружина – 2 и фиксатор – 3 электромеханического активатора крепятся к плавкому элементу – 4 в предохранителе, сверху фиксируется баллончик с газом CO_2 или, как показано на рисунке 2, пластинка со стеклянной перегородкой – 2, сеткой – 3 и порошковым огнетушащим веществом. При переправлении предохранителя боек – 1 ударяет и пробивает фольгированную часть баллончика или стеклянную перегородку – 2 и область задувается плотным потоком газа CO_2 или засыпается порошком. Это предотвращает

дальнейшее возгорание пыли или иного горючего вещества, а также дальнейшее распространение пламени.

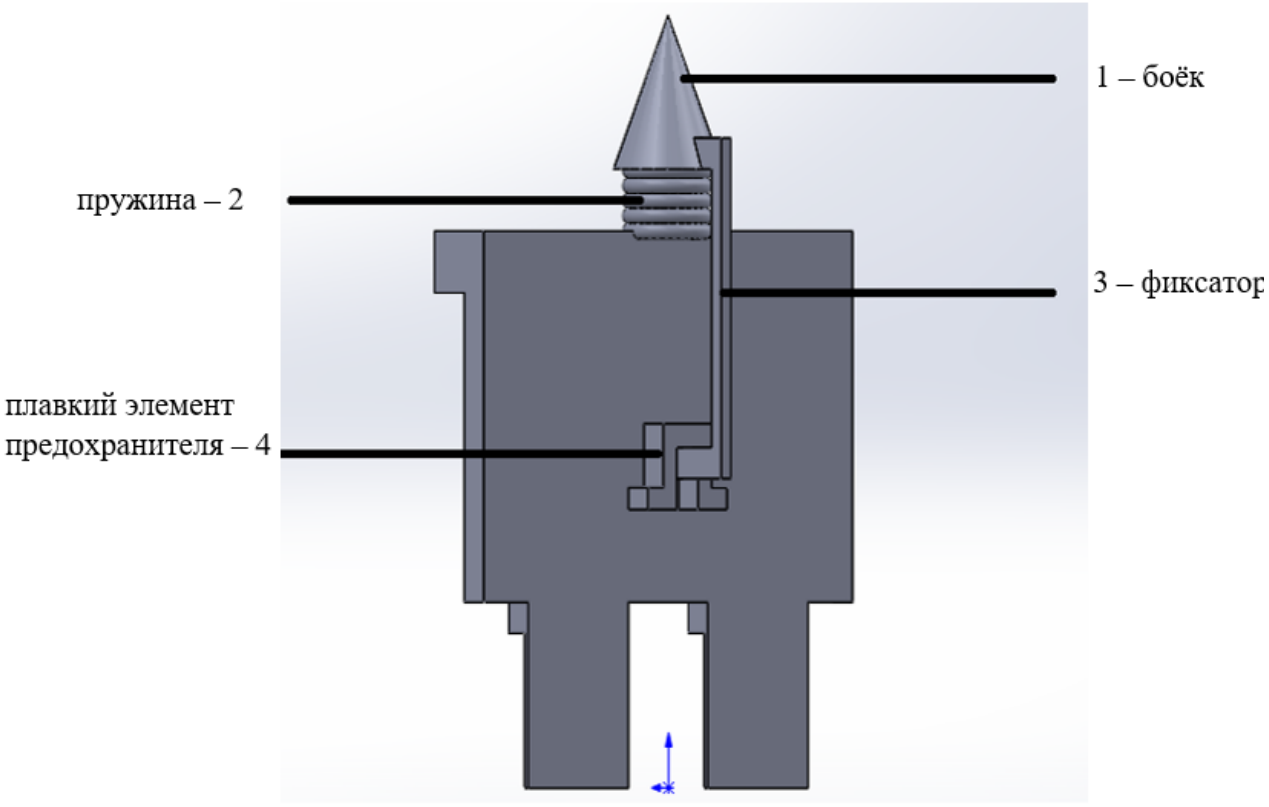


Рис 1. – Флажковый предохранитель с пружинным механизмом: боёк – 1, пружина – 2, фиксатор – 3, плавкий элемент предохранителя – 4.

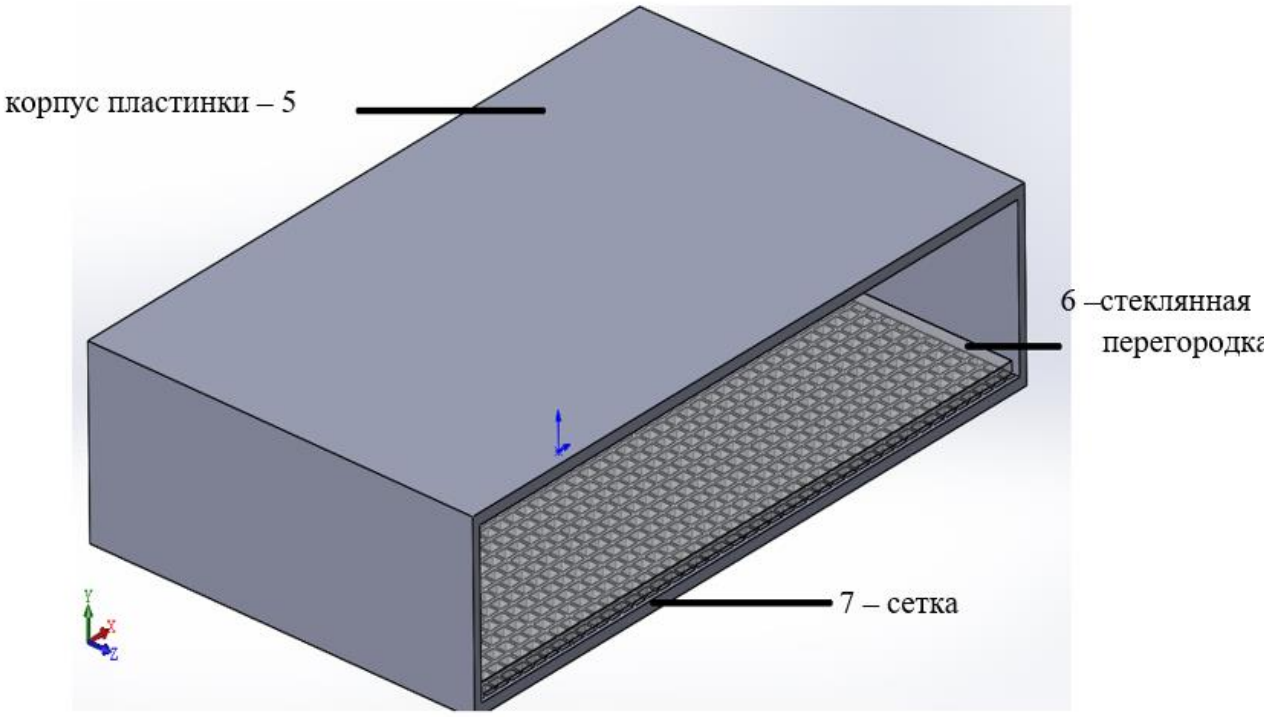


Рис. 2 – Пластинка со стеклянной перегородкой: корпус пластинки – 5, стеклянная перегородка – 6, сетка – 7.

Альтернативный разработанный вариант схемы требует разработки малого элемента по принципу схожего с баллончиком, но с закачанной внутрь химической пеной. И при

переправлении предохранителя пробка, удерживающая вещество, также переплавится или откроется под давлением без упора в плавкий элемент – 4, и область будет залита пожаротушащей смесью.

Принимая во внимание конструкционные особенности, а также требования к надежности и точности установки флажкового предохранителя к устройству, предполагается его применение преимущественно на особо пожароопасных объектах. К таким объектам можно отнести электронное оборудование, технологическое оборудование, используемое в энергетических системах, а также установки, связанные с работой с химически опасными веществами и другие отрасли, требующие повышенного уровня обеспечения пожарной безопасности [2].

Заключение. Предложена конструкция флажкового предохранителя с пружинным механизмом для электромеханического активатора химического огнетушителя, в целях локального подавления очагов возгорания в электронном оборудовании. Принцип работы устройства основан на использовании плавкого предохранителя в качестве инициирующего элемента, который при перегреве или аварийном режиме работы электрической цепи активирует ударный механизм и обеспечивает выпуск огнетушащего вещества в область возможного возгорания.

Предложенное решение позволяет использовать его как компактное средство локального пожаротушения, которое может устанавливаться непосредственно на печатные платы или элементы электрических цепей.

Применение предложенной конструкции флажкового предохранителя может способствовать повышению уровня пожарной безопасности критически важного оборудования и снизить риск распространения возгорания в энергетических, промышленных системах, а также на предприятиях с применением электронного оборудования.

Список литературы

1. *Петров Д.А., Сидоров М.Н. Современные системы автоматического пожаротушения для защиты электрооборудования. – СПб.: Профессия, 2022.*

2. *Иванов А.В., Кузнецов С.П. Пожарная безопасность электрооборудования и электронных систем. – М.: Инфра-Инженерия, 2023.*

UDC 614.841.3:621.3

FLAG-TYPE SAFETY DEVICE FOR AN ELECTROMECHANICAL ACTIVATOR OF A CHEMICAL FIRE EXTINGUISHER FOR FIRE SAFETY

Dulebenetz D.M., Kovalik D.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Telesh I.A. – Cand. of Sci., Associate Professor of the Department of EPE

Annotation. A design in the form of a flag-type safety device with a spring mechanism for an electromechanical activator of a chemical fire extinguisher is proposed. The device is intended for local suppression of a fire source directly at the level of printed circuit boards and elements of electrical circuits in electronic equipment.

Keywords: fire safety, flag-type safety device with a spring mechanism, electromechanical activator.

УДК 004.77:336.7

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ РЕЕСТРОМ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ В АПТЕКЕ

Лисовский О. Ю.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Бобровничая М.А. – ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. Целью данной работы является эргономическое проектирование веб-сервиса, предназначенного для мониторинга и анализа цифровых активов в режиме реального времени. В работе решаются задачи агрегации данных из различных блокчейн-сетей и *DeFi*-протоколов, разработки системы превентивных уведомлений о рисках и создания интуитивно понятного интерфейса для визуализации структуры портфеля. Создаваемый сервис позволяет минимизировать когнитивную нагрузку на пользователя и повысить эффективность управления капиталом за счет централизации разрозненной финансовой информации.

Ключевые слова: веб-приложение, автоматизация учета, *Java*, *Spring Boot*, лекарственные препараты.

Введение. В современной фармацевтической деятельности управление реестром лекарственных препаратов в аптеке представляет собой сложную организационную и аналитическую задачу. Основная проблема заключается в необходимости одновременного учета множества параметров: наименования препаратов, их дозировок, производителей, серий, сроков годности и актуальных цен. Фармацевты и заведующие аптеками вынуждены вести учет с использованием разрозненных инструментов – от бумажных журналов до табличных процессоров, что неизбежно ведет к задержкам в получении информации о наличии препаратов и повышает риск реализации просроченных лекарств. Существующие программные решения зачастую либо избыточно сложны и дороги для небольших аптек, либо не обеспечивают автоматизированного контроля критических показателей, таких как истекающие сроки годности. В связи с этим возникает необходимость в разработке специализированного веб-приложения, способного централизовать данные о лекарственных препаратах и предоставлять сотрудникам аптеки актуальную информацию о состоянии товарных запасов.

Таким образом, разработка веб-приложения для контроля и управления реестром лекарственных препаратов в аптеке является актуальной задачей. Создание подобной системы позволит автоматизировать процессы учета и поиска информации, минимизировать риск человеческих ошибок и повысить эффективность работы аптечного учреждения за счет оперативного доступа к данным о лекарственных средствах.

Основная часть. В ходе разработки веб-приложения были решены следующие задачи: проведён анализ предметной области фармацевтического учёта и сформулированы требования к системе; разработана логическая модель данных, отражающая сущности: «Лекарственный препарат», «Поставка», «Списание», «Заказ клиента», «Сотрудник»; создана реляционная база данных на *PostgreSQL* для хранения номенклатуры, серий, сроков годности, остатков и движений товара; реализована серверная часть на *Spring Boot*, обрабатывающая бизнес-логику и запросы; разработан пользовательский интерфейс для трех ролей: администратора, фармацевта и пользователя, проведено тестирование ключевых сценариев работы [1].

Выбор технологического стека обусловлен следующими факторами: язык *Java* обеспечивает надёжность, безопасность и кроссплатформенность корпоративных решений; фреймворк *Spring Boot* ускоряет разработку и упрощает конфигурацию; *Hibernate* используется для объектно-реляционного отображения; СУБД *PostgreSQL* выбрана за производительность и простоту развёртывания [2].

В основе архитектуры приложения лежит паттерн *MVC* (*Model-View-Controller*), что обеспечивает чёткое разделение логики хранения данных, их обработки и представления.

Разработаны модели, соответствующие ключевым объектам предметной области: препарат, категория, производитель, партия, остаток на складе, заказ, пользователь системы [3].

При проектировании функциональности составлена диаграмма вариантов использования. Система предусматривает три роли. Администратор имеет возможность добавления новых позиций в реестр, редактирования информации о препаратах, удаления устаревших записей, управления учётными записями сотрудников, просмотра отчётов по движению товаров, контроля критических остатков и истекающих сроков годности. Фармацевт имеет возможность авторизации в системе, просмотра актуального реестра и остатков, поиск препаратов по названию или действующему веществу, приёмки товара по накладным, отпуска препаратов покупателям (списание с остатков), резервирования товара под заказ, просмотра истории операций. Пользователь имеет возможность просмотра реестра лекарственных препаратов, имеющихся в наличии.

Разработан графический интерфейс, ориентированный на простоту и скорость работы. На рисунке 1 представлен пример страницы реестра лекарственных препаратов.

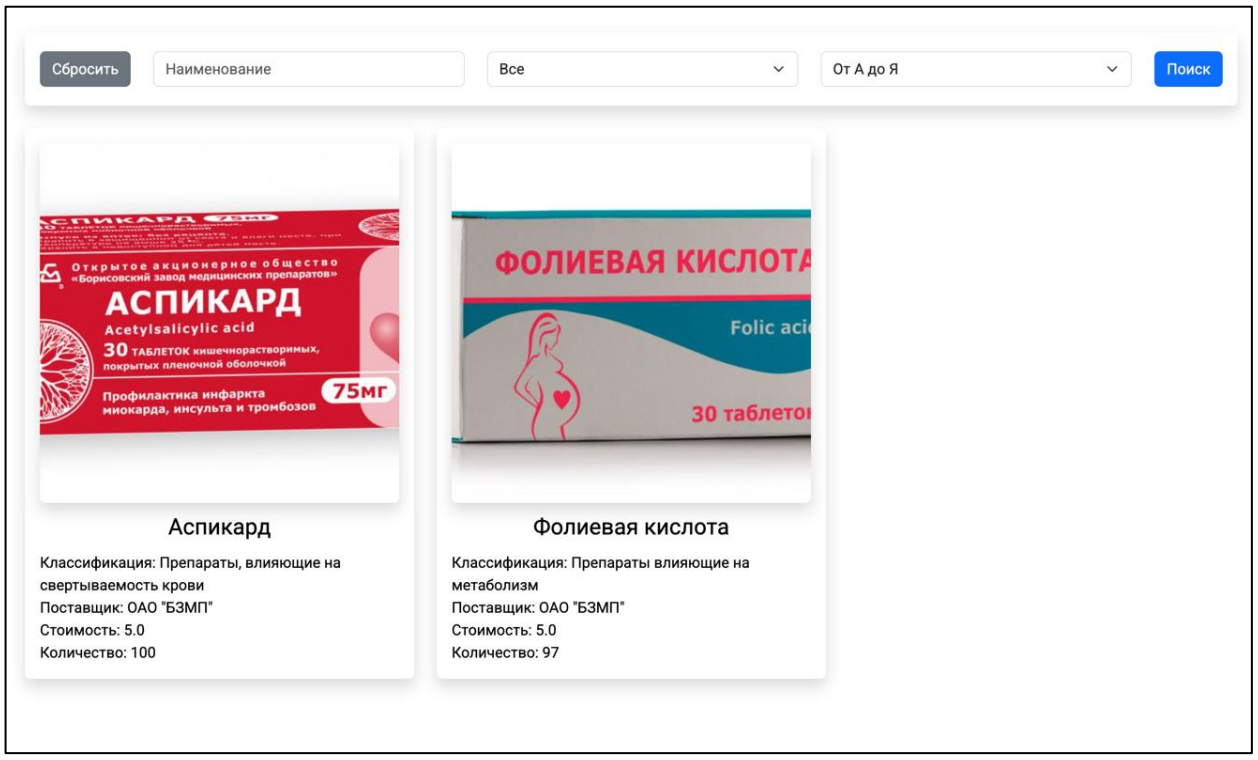


Рисунок 1 – Страница реестра лекарственных препаратов в режиме фармацевта

Одним из ключевых этапов при разработке программного обеспечения является реализация алгоритмов. Для примера на рисунке 2 представлен алгоритм регистрации и авторизации пользователя в программном средстве. Веб-приложение предоставляет широкий спектр возможностей пользователям, открывая перед ними множества инструментов и функций.

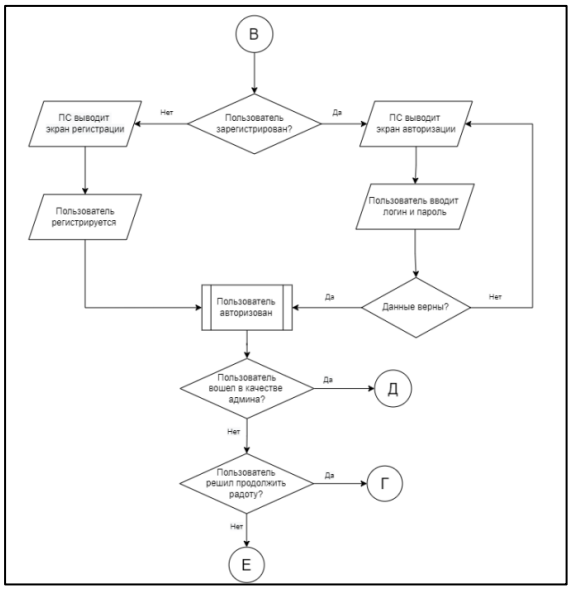


Рисунок 2 – Алгоритм регистрации и авторизации пользователя

Таким образом, созданное приложение функционирует в двух режимах (администратор и фармацевт) и служит для упрощения и повышения точности управления лекарственными средствами. Программа позволяет сотрудникам быстро находить нужные препараты, проводить операции прихода и расхода, а руководству – получать актуальную информацию о состоянии склада и действиях персонала.

Заключение. Разработано функционирующее веб-приложение, автоматизирующее ведение реестра лекарственных препаратов, учёт их поступления и отпуска, а также контроль сроков годности. Внедрение подобной системы позволяет сократить время обслуживания, исключить вероятность отпуска просроченных лекарств и повысить общую эффективность управления аптечным складом.

Список литературы

1. *Spring Framework. Java [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://javarush.com/groups/posts/spring-framework-java-1. – Дата доступа: 13.03.2026.*

2. *Spring [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://blog.skillfactory.ru/glossary/spring/ – Дата доступа: 13.03.2026.*

3. *Что такое Java Spring и как с ним работать [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://habr.com/ru/companies/skillfactory/articles/811769/– Дата доступа: 13.03.2026.*

UDC 004.77:336.7

WEB APPLICATION FOR MONITORING AND MANAGING THE REGISTER OF MEDICINAL PRODUCTS IN A PHARMACY

Lisovskiy O.Y.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

M.A. Bobrovnichaya – Senior Lecturer of the Department of EPE

Annotation. The aim of this work is the ergonomic design of a web service intended for real-time monitoring and analysis of digital assets. The work addresses the tasks of aggregating data from various blockchain networks and DeFi protocols, developing a system of preventive risk notifications, and creating an intuitive interface for visualizing portfolio structure. The developed service minimizes the cognitive load on the user and increases the efficiency of capital management by centralizing disparate financial information.

Keywords: web application, accounting automation, Java, Spring Boot, medicinal products.

УДК 004.774:7.077

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ХУДОЖНИКОВ И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Ульянова Г. В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Цявловская Н.В. – магистр технических наук, ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. В статье представлено веб-приложение, разработанное для повышения эффективности профессиональной деятельности художников. В исследовании анализируются эргономические принципы проектирования интерфейса, алгоритмы взаимодействия с пользователем и методы структурирования и управления данными. Описываются архитектура, реализация и удобство использования системы, а также освещаются подходы к созданию интуитивно понятного и эффективного пользовательского опыта.

Ключевые слова: веб-приложение, профессиональная деятельность художников, эргономика, пользовательский интерфейс, алгоритмы взаимодействия, база данных, PostgreSQL, Spring Boot

Введение. Современные художники сталкиваются с необходимостью организации и автоматизации процессов творческой и профессиональной деятельности. Эффективное использование цифровых инструментов позволяет оптимизировать рабочий процесс, управлять проектами, хранить и анализировать данные. В этой связи разработка веб-приложения с учетом эргономических принципов повышает продуктивность и удобство работы.

Основная часть. В веб-приложении для художников важно сразу привлечь внимание пользователя и предоставить доступ к ключевым функциям. Одним из основных правил веб-дизайна является то, что если пользователь заинтересован в чем-либо, то открытая веб-страница должна отвечать его ожиданиям [1]. Поэтому при разработке веб-приложения учитывались принципы эргономики и удобства использования интерфейса**,** что позволило создать интуитивно понятную навигацию по страницам.

Разработка веб-приложения для совершенствования профессиональной деятельности художников строится на современных технологиях, обеспечивающих удобство взаимодействия пользователя с программой. В приложении реализованы функции монетизации творческой деятельности**,** включая платные подписки, доступ к премиум-контенту и чаты с художниками**,** доступ к которым ограничен в зависимости от статуса подписки. Отличие от аналогов в том, что коммуникация прямо интегрирована в систему и возможна только при наличии платной подписки и оформленной заявки на заказ. Это отсечёт случайные или незаинтересованные обращения. Художник получает только целенаправленные запросы от пользователей, готовых к сотрудничеству, ознакомляется с заявкой. Только после её одобрения появляется возможность коммуникации между клиентом и художником.

В качестве серверного фреймворка используется Spring с его модульной архитектурой и сопутствующие его библиотеки разработки современных приложений: механизмы хранения данных, фреймворк безопасности, мониторинг времени [2]. Был выбран язык Java для серверной части.

В веб-приложении для совершенствования профессиональной деятельности художников будет использоваться паттерн MVC для разделения логики доступа к данным и логики отображения [3]. Для реализации этого паттерна используется надстройка над Spring Framework – Spring Boot. Он был использован, так как обеспечивает автоматическую конфигурацию приложения, упрощает настройку контроллеров и обработку ошибок. Были

через него реализованы технические ограничения для статусов подписок, доступом к премиум-контенту и чатам.

Для работы с механизмом хранения данных будет применяться Spring Data JPA. С его помощью реализованы CRUD-операции для таблиц базы данных, и этот модуль используется для функций поиска, сортировок и фильтраций в программе.

За безопасность приложения отвечает модуль Spring Security, который обеспечивает процессы аутентификации и авторизации пользователей, защищает персональные данные художников и регулирует безопасный доступ ко всем функциям веб-приложения.

Пользовательский интерфейс создается с использованием HTML и CSS, что обеспечивает эргономичность, интуитивность и адаптивность страниц. Страницы портфолио автоматически подстраиваются под размер экрана устройства: на десктопе работы отображаются сеткой из нескольких колонок, а на планшете или смартфоне – в одну колонку для удобного просмотра. Элементы управления, такие как кнопки загрузки работы или фильтры по категориям, расположены рядом с содержимым, что сокращает количество действий пользователя.

Для хранения данных применяется PostgreSQL. В базе реализованы таблицы для пользователей, художественных работ, платного контента, чатов и покупок. PostgreSQL был выбран, так как его архитектурный стиль позволяет масштабировать взаимодействие компонентов и предоставляет стандартные способы обмена данными, которые используются в программном обеспечении [4].

Заключение. Разработанное веб-приложение обеспечивает удобное взаимодействие художников с программой. Целевой аудиторией являются начинающие, профессиональные художники и их аудитория. Разработанное веб-приложение отличается от существующих платформ тем, что полностью интегрирует монетизацию, коммуникацию и обработку заказов в одном сервисе. В отличие от популярных аналогов, где коммуникация с клиентами часто вынесена в сторонние каналы, а платный контент ограничен торговыми платформами, в данном приложении всё объединено в локальной и настраиваемой системе, что обеспечивает гибкость функционала и адаптацию под узкоспециализированную аудиторию.

Список литературы

1. *Нильсен, Я., Лоранжер, Х. Web-дизайн: удобство использования Web-сайтов : пер. с англ. / Я. Нильсен, Х. Лоранжер. – Москва : ООО «И.Д. Вильямс», 2009. – 368 с.*

2. *Уоллс, К. Spring в действии : 6-е изд. : пер. с англ. / К. Уоллс; пер. с англ. А. Киселев. – Москва : ДМК Пресс, 2022. – 544 с.*

3. *Professional ASP.NET MVC 5 / Jon Galloway, Brad Wilson, K. Scott Allen, David Matson. – Hoboken, NJ : Wrox, 2015. – 608 p.*

4. *Моргунов, Е. П. PostgreSQL. Профессиональный SQL : учеб. пособие / Е. П. Моргунов; под ред. Е. В. Рогова. – Москва : ДМК Пресс, 2025. – 444 с.*

UDC 004.418

WEB APPLICATION FOR IMPROVING PROFESSIONAL ACTIVITY OF ARTISTS AND ITS ERGONOMIC SUPPORT

Ulyanova G.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Tsyavlovskaya N.V. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of EPE

Annotation. The paper presents a web application designed to enhance the professional activities of artists. The study analyzes ergonomic principles in interface design, user interaction algorithms, and methods for structuring and managing data. The architecture, implementation, and usability of the system are described, highlighting approaches for creating intuitive and efficient user experiences.

Keywords: web application, professional activity of artists, ergonomics, user interface, interaction algorithms, database, PostgreSQL.

УДК 004.4:332.6

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО ОЦЕНКИ РЫНОЧНОЙ СТОИМОСТИ НЕДВИЖИМОСТИ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Чепелевич В.О.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Ларькин А.Д. – ассистент кафедры ПИКС

Аннотация. Экспериментально исследовано функционирование программного средства автоматизированной оценки стоимости жилой недвижимости с применением нейросетевых моделей в условиях обработки гетерогенных данных. Установлено, что критическое снижение точности прогноза (увеличение средней абсолютной ошибки *MAPE* свыше 12 %) наступает при дефиците или некорректности ключевых признаков объектов недвижимости в *JSON*-пакетах свыше 5,2 % от общего объема выборки. Предложена методика верификации бизнес-логики, основанная на контроле весов нейронной сети и качества входных векторов. Разработаны структурные схемы взаимодействия серверной и клиентской частей программного средства для обеспечения точности бизнес-анализа.

Ключевые слова: недвижимость, нейронная сеть, машинное обучение, *REST*-архитектура, автоматизация оценки.

Введение. Современный рынок недвижимости характеризуется высокой динамичностью и зависимостью от множества факторов (локация, инфраструктура, год постройки), что делает ручную оценку трудозатратной. Автоматизация этого процесса требует создания программных средств, способных обрабатывать большие массивы данных с использованием методов интеллектуального анализа. Применение распределенной архитектуры позволяет разделить процессы сбора «сырых» данных и их аналитической обработки нейронной сетью, однако выдвигает жесткие требования к качеству входной информации [1]. В данной статье автором показано, что точность прогнозной стоимости напрямую зависит от чистоты обучающей выборки и корректности работы модулей нормализации данных.

Основная часть. При контроле функционирования программного средства (ПС) оценки недвижимости необходимо решить две задачи:

– обеспечить высокую точность аппроксимации стоимости объектов;

– выявить функциональные блоки (ФБ), влияющие на возникновение систематических ошибок в расчетах.

Процесс оценки был разделен на две функциональные области в соответствии с рисунком 1.

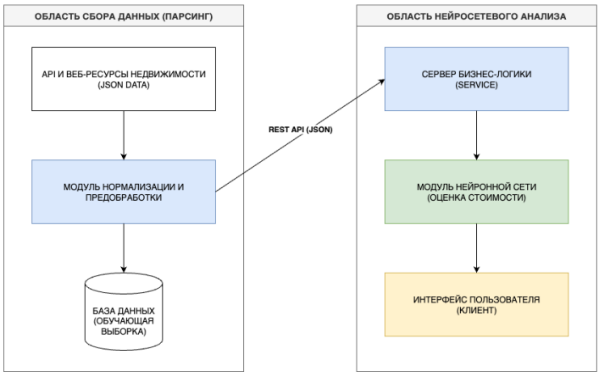


Рисунок 1 – Схема взаимодействия областей сбора данных и нейросетевой обработки

На представленной схеме (рисунок 1) визуализирована высокоуровневая архитектура программного средства, спроектированная согласно принципам распределенных систем [2]. Взаимодействие компонентов организовано через разделение зон ответственности на две ключевые области: сбор данных и их глубокую нейросетевую обработку.

Испытуемое программное средство было представлено в виде ряда функциональных блоков, реализованных в архитектурном стиле *REST* [3]. Для тестирования ФБ был разработан набор тестовых программ (ТП), обеспечивающих последовательность верификации бизнес-логики в составе ПС (таблица 1):

Таблица 1 – Последовательность тестирования ФБ ПС

№ тестовой программы	**Область тестирования**
ТП1	верификация корректности парсинга и нормализации признаков в *JSON*-пакетах
ТП2	тестирование точности прогнозирования в модуле нейросетевой логики

На рисунке 2 представлена логическая последовательность работы аналитического модуля, обеспечивающая преобразование входных массивов данных в обоснованные результаты оценки. Общий алгоритм функционирования аналитического модуля, отвечающего за оценку объектов, представлен в виде блок-схемы. Данная схема отражает логику преобразования входных характеристик недвижимости в конкретный стоимостной показатель.

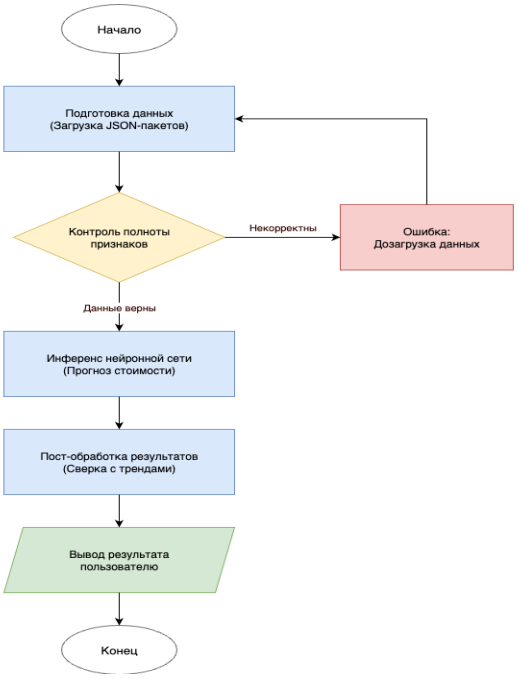


Рисунок 2 – Алгоритм функционирования модуля нейросетевой оценки

Алгоритм включает в себя несколько критических стадий обработки:

1 Инициализация и загрузка. Процесс начинается с получения *JSON*-пакетов через *REST*-интерфейс [4]. На этом этапе программное средство подготавливает среду для обработки данных, извлекая необходимые параметры объекта (метраж, район, год постройки).

2 Контроль целостности и верификация. Программа проверяет структуру признаков и полноту данных. Согласно проведенным исследованиям, именно на этом этапе выявляется «зашумленность» выборки. Если уровень ошибок превышает допустимый предел, система инициирует цикл дозагрузки данных для предотвращения критических отклонений в прогнозе стоимости.

3 Вычисление оценочных показателей. После успешной валидации модуль переходит к нейросетевому инференсу. Система анализирует ключевые ценообразующие факторы:

локационные характеристики, физические параметры и текущую рыночную конъюнктуру. Нейронная сеть сопоставляет объект с накопленным опытом из обучающей выборки, вычисляя наиболее вероятную рыночную стоимость. На финальном этапе алгоритм формирует отчет, который передается в интерфейс пользователя (клиентскую часть).

Общий алгоритм функционирования аналитического модуля, отвечающего за оценку объектов, представлен в виде блок-схемы (рисунок 2). Данная схема отражает логику преобразования входных характеристик недвижимости в конкретный стоимостной показатель.

Установлено, что некорректный результат работы модуля оценки чаще всего обусловлен спецификой предобработки данных. Данный модуль строится на базе процедур векторизации, обладающих программными фильтрами для отсечения объявлений-дублей и ценовых аномалий. Реализация таких механизмов верификации на стороне сервера делает аналитический блок чувствительным к пропускам или искажениям ключевых признаков объектов, в отличие от простых транспортных модулей системы.

Заключение. Выполнен анализ влияния качества входных данных на результаты автоматизированной оценки стоимости недвижимости в разработанном программном средстве. Впервые установлено, что в аналитическом блоке ПС при накоплении ошибок в *JSON*-структурах свыше 5,2 % происходят критические искажения в прогнозах (*MAPE* > 12%), что ведет к некорректному выполнению запрограммированных функций. Определено, что высокая погрешность обусловлена отсутствием полной информации о характеристиках объекта на этапе первичной обработки. Предложена методика функционального контроля ПС, основанная на разделении процессов сбора данных и нейросетевого анализа, что позволяет своевременно выявлять логические дефекты в программном коде.

Список литературы

1. *Kleppmann, M. Designing Data-Intensive Applications: The Big Ideas Behind Reliable, Scalable, and Maintainable Systems / Martin Kleppmann. – Sebastopol : O'Reilly Media, 2017. – 616 p. – ISBN 978-1-449-37332-0.*

2. *Алексеев, В. Ф. Проектирование и разработка распределенных информационных систем на базе REST-архитектуры / В. Ф. Алексеев // Вестник БГУИР. – 2022. – № 4. – С. 45–52.*

3. *Fielding, R. T. Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures / Roy Thomas Fielding // Slovak international scientific journal. – 2021. – Vol. 2, N 48. – Pp. 14–29*

4. *Вигерс, К. Разработка требований к программному обеспечению / К. Вигерс, Д. Битти. – М. : БХВ-Петербург, 2019. – 736 с. – ISBN 978-5-9775-3348-5.*

UDC 004.4:332.6

SOFTWARE TOOL FOR REAL ESTATE MARKET VALUE ASSESSMENT BASED ON A NEURAL NETWORK

Chapialevich V. O.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Larkin A.D. – assistant of the department of ICSD

Annotation. The functioning of a software tool for automated real estate value estimation using neural network models under conditions of heterogeneous data processing has been experimentally investigated. It was found that a critical decrease in forecast accuracy (MAPE exceeding 12%) occurs when the share of incorrect or incomplete key features in JSON packets exceeds 5.2% of the total sample volume. A method for controlling the business logic of a software tool based on the verification of functional blocks and input vectors quality is proposed.

Keywords: real estate, neural network, machine learning, REST architecture, valuation automation.

УДК 615.1:004

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СЕТИ АПТЕК

Догодькина В.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Казак Т.В. – д-р. псих. наук, профессор, заведующий кафедрой ИПиЭ

Аннотация. Разработана информационная система для автоматизации учета лекарственных средств и управления деятельностью сети аптек. Определены функциональные задачи системы, включающие автоматизированный учет препаратов, контроль остатков, управление заявками на поставку и визуализацию аптек на интерактивной карте. Выполнено проектирование архитектуры системы с использованием современных веб-технологий. Проведена эргономическая оценка пользовательского интерфейса, подтверждающая его соответствие требованиям удобства и эффективности взаимодействия.

Ключевые слова: информационная система, учет лекарств, автоматизация, управление запасами.

Введение. В современном здравоохранении эффективное управление учетом лекарственных средств в аптечных учреждениях приобретает ключевое значение. Фармацевты, администрация аптек и менеджмент сталкиваются с необходимостью оперативного контроля запасов, отслеживания сроков годности, управления поставками и обеспечения наличия необходимых препаратов для пациентов. Существующие на рынке системы учета зачастую обладают рядом недостатков: высокая стоимость внедрения, сложность использования для персонала без специальной подготовки, ограниченные возможности интеграции и недостаточная гибкость настройки под специфические потребности бизнеса. Кроме того, многие из представленных решений требуют длительного обучения сотрудников и регулярного дорогостоящего сопровождения, что делает их недоступными для небольших и средних аптечных сетей с ограниченным бюджетом на информатизацию. В связи с этим разработка специализированной информационной системы, ориентированной на интуитивно понятный интерфейс и автоматизацию ключевых бизнес-процессов, является актуальной задачей [1].

Основная часть. Разрабатываемая информационная система предназначена для автоматизации процессов учета лекарственных средств и управления деятельностью сети аптек. Архитектура системы построена с учетом современных требований к функциональности, удобству использования и безопасности обработки данных. Информационная система обеспечивает пользователям возможность оперативного контроля наличия препаратов, отслеживания сроков годности, формирования заявок на поставку, а также визуализации аптек на интерактивной карте с привязкой к данным о наличии товаров [2].

При разработке информационной системы были выделены следующие функциональные задачи:

– автоматизированный учет лекарственных средств в разрезе каждой аптеки сети;

– фильтрация и поиск лекарств по заданным;

– автоматический контроль минимальных и страховых остатков с формированием уведомлений о необходимости пополнения;

– управление заявками на поставку товаров;

– визуализация сети аптек на интерактивной карте с отображением актуальной информации о наличии препаратов;

– сохранение истории заявок, поиска и просмотренных товаров в личном кабинете пользователя с возможностью анализа и повторного использования.

Клиентская часть информационной системы реализована на языке JavaScript с использованием фреймворка Vue.js и библиотеки компонентов Vuetify, а также технологий

HTML и CSS. Серверная часть и хранение данных обеспечиваются облачной платформой Firebase, которая включает аутентификацию пользователей и базу данных Firestore. Для отображения аптек и визуализации информации о доставке используется JavaScript API Яндекс Карт. Среда разработки – Visual Studio Code [3].

На этапе проектирования веб-приложения были определены основные функции системы:

– аутентификация пользователя в системе;
– управление номенклатурой товаров (добавление, редактирование);
– управление минимальными и страховыми остатками товаров;
– управление товарными запасами;
– формирование и отслеживание заявок на поставку товаров;
– просмотр данных в личном кабинете;
– поиск товара в базе данных по различным критериям;
– визуализация сети аптек на интерактивной карте;
– формирование отчетности по продажам;
– анализ эффективности работы аптек сети;
– контроль выполнения поставок и заявок управление учетными записями сотрудников;
– разграничение прав доступа к функциям системы;
– изменение данных фармацевта;
– учет финансовых операций.

Проектирование информационной системы осуществлялось с учетом функциональных требований к системе и необходимости обеспечения удобства взаимодействия пользователя с интерфейсом. На начальном этапе были разработаны алгоритмы работы пользователя, описывающие последовательность действий при выполнении основных сценариев: авторизация в системе, поиск лекарства по параметрам, создание заявки на поставку, обработка заявок менеджером, просмотр аптек на интерактивной карте, формирование отчетов по продажам. На основе разработанных алгоритмов построена структурная схема взаимодействия пользователя с информационной системой и базой данных Firebase. Детальная проработка каждого сценария позволила учесть все возможные варианты поведения пользователей и предусмотреть корректную реакцию системы на различные действия, включая нештатные ситуации, такие как ошибки ввода данных или отсутствие соединения с сервером. Такой подход обеспечивает устойчивость функционирования программного комплекса в реальных условиях эксплуатации и минимизирует вероятность возникновения сбоев при интенсивной работе персонала аптеки [4].

Для формализации функциональных требований разработана диаграмма вариантов использования, которая определяет границы системы, роли пользователей (сотрудник, менеджер, администратор) и доступные им функции. На основе диаграммы вариантов использования разработан сценарий информационного взаимодействия пользователя с программным комплексом, детализирующий обмен данными между компонентами системы при выполнении ключевых операций. Применение данного подхода на ранних этапах проектирования позволило выявить и устранить потенциальные противоречия в требованиях, а также обеспечить согласованность действий всех модулей системы при параллельной работе нескольких пользователей.

На этапе проектирования пользовательского интерфейса разработаны прототипы основных экранов информационной системы: страница авторизации, главная страница сотрудника, страница создания заявки, страница менеджера со входящими заявками, страница с интерактивной картой аптек, страница отчетов и аналитики, личный кабинет. Для оценки удобства и эффективности разработанных интерфейсных решений проведена эргономическая оценка пользовательского интерфейса, позволившая выявить и устранить потенциальные проблемы навигации и восприятия информации. В процессе оценки учитывались такие критерии, как время выполнения типовых операций, количество ошибок при работе с интерфейсом, а также субъективная удовлетворенность пользователей, что в совокупности позволило добиться высокой степени эргономичности разработанного решения [5].

На рисунке 1 представлена диаграмма вариантов использования информационной системы для автоматизации учета лекарственных средств в сети аптек.

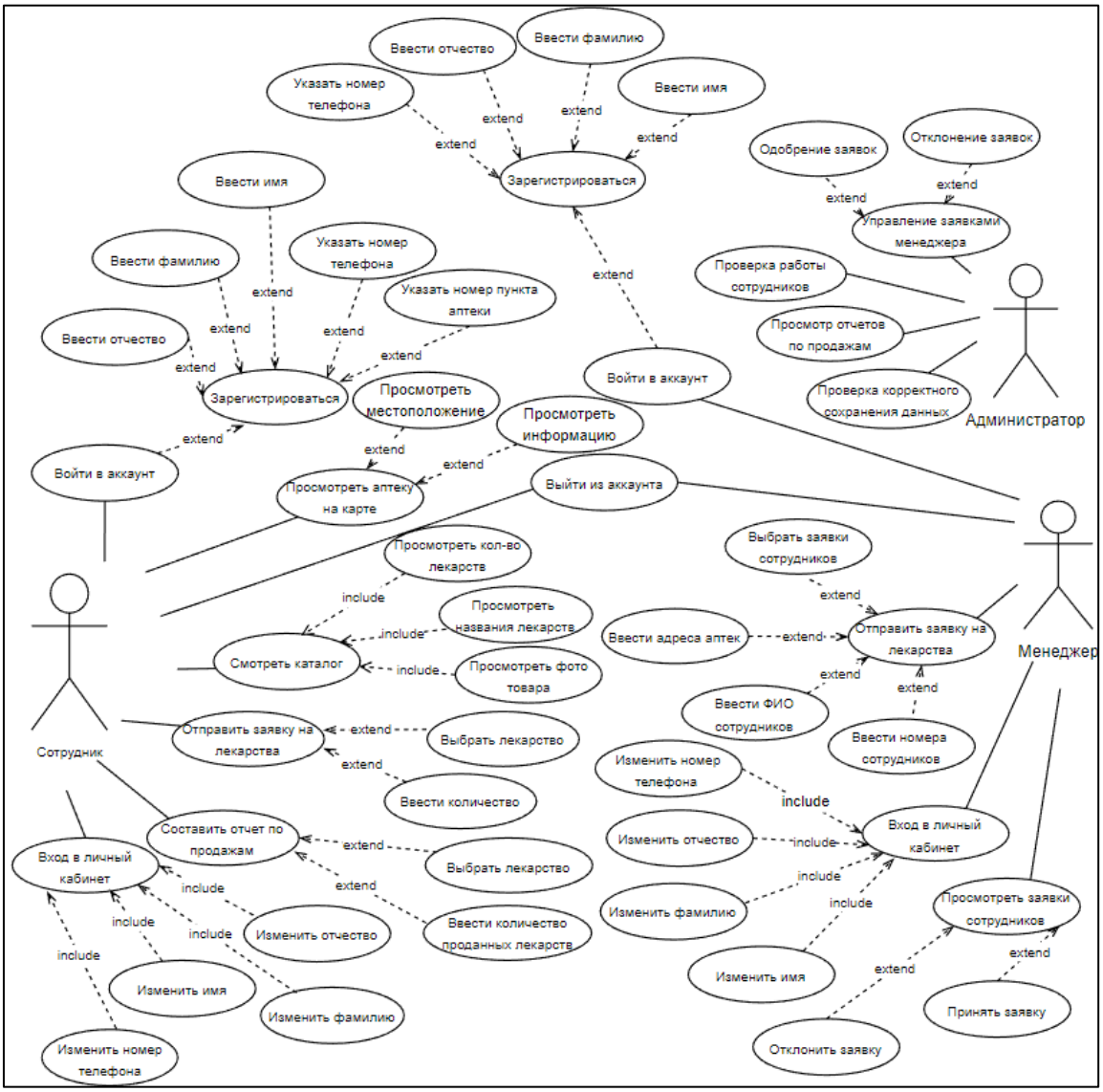


Рисунок 1 – Диаграмма вариантов использования

На рисунке 2 представлены макеты основных страниц информационной системы



Рисунок 2 – Макеты основных страниц информационной системы

Заключение. Таким образом, была разработана информационная система для автоматизации учета лекарственных средств и управления деятельностью сети аптек. При разработке использованы современные технологии и подходы к проектированию информационных систем. Все функциональные задачи, поставленные перед системой, реализованы в полном объеме. Результаты эргономической оценки подтверждают соответствие пользовательского интерфейса установленным требованиям к удобству и эффективности взаимодействия.

Список литературы

1. *Badakshanov, A.R. Information support of pharmaceutical activity : textbook / A.R. Badakshanov, S.N. Ivakina. – Moscow : GEOTAR-Media, 2024. – 256 p. – ISBN 978-5-9704-8903-1.*

2. *Monogarov, M.M. Development of a web-oriented software system for working with meteorological data / M.M. Monogarov // Scientific works. – 2025. – Vol. 1, No 1. – Pp. 45–52.*

3. *Pershin, A.A. Experience of using the vue.js framework in the development of information-modeling systems / A.A. Pershin, A.S. Blinkov, I.A. Gurin // Heat engineering and informatics in education, science and production : collection of reports of the X All-Russian scientific-practical conf. – Yekaterinburg : UrFU, 2022. – Pp. 267–272.*

4. *Laputa, A.N. Automation of accounting for the receipt of medicines in a pharmacy / A.N. Laputa // Business pulse : III International scientific-practical student conf. – Minsk : School of Business of BSU, 2025. – Pp. 323–326.*

5. *Kuznetsova, E.A. Web-application for automation of accounting and monitoring of goods movement at a pharmaceutical enterprise / E.A. Kuznetsova ; scientific supervisor N.V. Ermalinskaya // Research and development in the field of mechanical engineering, energy and management : materials of the XXV International scientific-technical conf. – Gomel : GSTU named after P.O. Sukhoi, 2025. – Part 2. – Pp. 223–226.*

UDC 615.1:004

INFORMATION SYSTEM FOR MANAGING A PHARMACY NETWORK

Dogodkina V.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Kazak T. V. – Dr. of Psy, Professor, Head of the EPE Department

Annotation. The purpose of this work is to develop an information system for automating the accounting of medicines in a chain of pharmacies. The work addresses the tasks of designing the architecture of the information system, developing a user-friendly interface for employees, managers, and administrators, and implementing functional modules for inventory management, creating orders, and generating reports. The created application ensures transparency in the accounting process, reduces staff time, and enhances the efficiency of managing a pharmacy chain.

Keywords: information system, drug registration, automation, and inventory management.

УДК 004.738.5:2-523.4(476–25)

ВЕБ-САЙТ ПРИХОДА ХРАМА СВЯТИТЕЛЯ КИРИЛЛА ТУРОВСКОГО В Г. ЖАБИНКА: ЦИФРОВАЯ ПЛАТФОРМА ДУХОВНОГО ЕДИНСТВА И СОХРАНЕНИЯ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ БЕЛОРУССКОЙ ПРАВОСЛАВНОЙ ЦЕРКВИ И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Филимонюк А.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Воробей А.В. – магистр техн. наук, ассистент кафедры ИПиЭ

Аннотация. Разработан веб-сайт для прихода храма Святителя Кирилла Туровского в г. Жабинка, выступающий цифровой платформой для духовного единения прихожан и сохранения культурно-исторического наследия Белорусской Православной Церкви. Реализованы модули информирования о жизни прихода (расписание богослужений, новости), интерактивная библиотека духовной литературы и медиа-архив, система сбора пожертвований, а также личный кабинет для коммуникации со священником. Особое внимание уделено эргономическому обеспечению интерфейсов, ориентированных на разные возрастные группы пользователей. Серверная часть реализована на языке Python с использованием фреймворка Django и СУБД PostgreSQL, клиентская – с применением шаблонов Django и адаптивной верстки. Разработка выполнялась в среде PyCharm под управлением операционной системы macOS.

Ключевые слова: веб-сайт храма, духовное единство, культурное наследие, эргономика, UI/UX, Django, Python, PostgreSQL, адаптивный дизайн.

Введение. В современном информационном обществе Православная Церковь активно осваивает цифровое пространство для миссионерской деятельности, катехизации и укрепления связей между прихожанами. Для небольших городских приходов, таких как храм Святителя Кирилла Туровского в г. Жабинка, создание полноценного веб-сайта перестает быть просто вопросом престижа и становится насущной необходимостью. Приход сталкивается с вызовами информирования прихожан об изменении расписания, привлечения молодежи, сохранения уникальных материалов об истории храма и его роли в регионе [1].

Традиционные способы коммуникации (объявления на двери храма, личное общение) не позволяют оперативно реагировать на изменения или охватить широкую аудиторию, особенно молодое поколение и людей, которые только ищут свой путь к вере. Отсутствие цифровой платформы затрудняет процесс сбора средств на благотворительность, делает недоступным для многих духовное наследие (проповеди, поучения), хранящееся в архивах прихода. Кроме того, существующие типовые решения для церковных сайтов часто не учитывают эргономические потребности пожилых людей, составляющих значительную часть прихожан, что приводит к низкой вовлеченности и цифровому неравенству внутри общины [2].

Основная часть. Разрабатываемая система представляет собой специализированный веб-портал, целью которого является не просто информирование, а формирование цифровой общины. Архитектура построена по классическому для Django шаблону MVT (Model-View-Template) с четким разделением логики, данных и представления.

Серверная часть реализована на языке Python с использованием фреймворка Django, который предоставляет встроенные средства администрирования, аутентификации и ORM для работы с базой данных [3]. Выбор Django обусловлен его надежностью, безопасностью и наличием готовых модулей для решения типовых задач веб-разработки. В качестве СУБД используется PostgreSQL, обеспечивающая надежное хранение структурированных данных (новости, расписание) и медиафайлов. Клиентская часть построена с использованием встроенной системы шаблонов Django, HTML5, CSS3 и JavaScript, что обеспечивает быструю загрузку страниц и простоту поддержки. Разработка велась в интегрированной среде

разработки PyCharm под управлением операционной системы macOS, что позволило эффективно использовать инструменты отладки и контроля версий. Развертывание осуществляется с использованием Gunicorn и Nginx.

Безопасность доступа обеспечивается встроенной в Django системой аутентификации. Реализовано разграничение прав: администратор (настоятель или ответственный секретарь) управляет контентом через встроенную админ-панель Django, модератор проверяет сообщения из личных кабинетов, а прихожане имеют доступ к личному кабинету с историей пожертвований и возможностью задать вопрос священнику.

Эргономическое обеспечение является ключевым аспектом разработки. Учитывая специфику аудитории (от молодежи до людей старшего возраста), интерфейс спроектирован с соблюдением следующих принципов:

1 Адаптивность и простота навигации. Интерфейс корректно отображается на всех типах устройств (смартфоны, планшеты, ПК). Для пожилых пользователей предусмотрен режим «Крупный шрифт» и упрощенная версия меню, где основные разделы («Расписание», «Требы», «Новости») вынесены на главный экран. Навигация минимизирована и интуитивно понятна. Верстка выполнена с использованием медиазапросов CSS и учитывает рекомендации WCAG по доступности.

2 Визуальная иерархия и цветовая гамма. Использование спокойных, «церковных» тонов (золотой, бордовый, бежевый) в сочетании с достаточной контрастностью текста для комфортного чтения. Иконографика выполнена в каноническом стиле, чтобы быть узнаваемой и не вызывать когнитивного диссонанса у верующих.

3 Информационная архитектура. Главная страница отображает ключевую информацию: дату и время ближайшего богослужения, краткую ленту новостей и икону дня. Глубинная структура позволяет погружаться в разделы, не теряя контекст (например, из новости о престольном празднике можно перейти в раздел истории храма, посвященный этому событию.

Реализация поставленных целей по созданию цифровой платформы духовного единства и сохранения культурного наследия обеспечивается набором специализированных функциональных модулей. Они разработаны с учетом выявленных потребностей прихода и описанных выше эргономических требований к интерфейсам. Каждый модуль решает конкретную задачу приходской жизни – будь то доступ к духовному наследию, удаленное заказание треб, коммуникация со священником или информирование о событиях, – при этом все модули объединены общим дизайном и логикой взаимодействия.

1 Модуль «Духовное наследие». Представляет собой структурированный архив, включающий жития святых, связанных с Белорусской Православной Церковью (в частности, святого. Кирилла Туровского), аудиозаписи проповедей, исторические фотографии храма. Реализован удобный поиск и фильтрация по тегам (автор, дата, праздник).

2 Модуль «Требы онлайн». Позволяет прихожанам подать записки о здравии и упокоении, заказать молебен. Интерфейс формы максимально упрощен: выбор требы, ввод имен (с подсказками о церковном написании), оплата через интегрированную платежную систему. Данные обрабатываются через Django Forms с валидацией на стороне сервера.

3 Модуль «Вопрос священнику». Реализован в формате личных сообщений внутри личного кабинета для обеспечения конфиденциальности. Система уведомлений оповещает пользователя о получении ответа по электронной почте.

4 Подсистема уведомлений. Функционирует в двух режимах: массовые уведомления (об изменении расписания, о праздниках) и персональные (напоминание о подаче записки на Литургию, которую заказали заранее, ответ на вопрос).

Система включает возможность сбора обратной связи от пользователей. Опросы и анкеты помогут выявить потребности и ожидания прихожан, что позволит эффективно адаптировать контент и функционал портала под их требования. Регулярное обновление информации и реакция на пожелания пользователей будут способствовать поддержанию интереса к ресурсу.

Заключение. Разработанное веб-приложение ориентировано на практическое применение в условиях реально действующего прихода Белорусской Православной Церкви. Создание единого информационного пространства для прихожан храма Святителя Кирилла Туровского в г. Жабинка позволяет преодолеть информационную разобщенность, сохранить и

популяризировать культурное наследие, а также сделать приходскую жизнь более открытой и доступной. Особый упор на эргономику интерфейсов гарантирует, что цифровая платформа станет инструментом именно *духовного единства*, а не барьером для людей старшего поколения или тех, кто делает первые шаги в освоении цифровых технологий.

Система спроектирована с учетом специфики небольшого городского прихода, но ее модульная архитектура и возможности Django позволяют масштабировать решение и интегрировать его с епархиальными порталами. Выбранный технологический стек (Python, Django, PostgreSQL) обеспечивает надежность, безопасность и простоту дальнейшего сопровождения сайта силами прихода. Использование среды разработки PyCharm на платформе macOS позволило организовать эффективный процесс разработки и отладки всех компонентов системы. Таким образом, предлагаемый проект закрывает актуальный технологический пробел в жизни церковной общины, предоставляя прихожанам современный, удобный и душеполезный инструмент для взаимодействия и сохранения веры.

Список литературы

1. *Щёкин, Н. С. Социально-философские аспекты диалога христианской церкви и государства / Н. С. Щёкин. – Минск : Беларуская навука, 2021. – 262 с. – URL: https://socio.bas-net.by/shhyokin-nikolaj-sergeevich/*

2. *Баканов, А. С. Эргономика пользовательского интерфейса: от проектирования к моделированию человеко-компьютерного взаимодействия / А. С. Баканов, А. А. Обознов. – М. : Институт психологии РАН, 2011. – 176 с. – ISBN 978-5-9270-0191-0. – URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_005035247/*

3. *Савостин, П. А. Практическое применение асинхронного программирования на языке Python при помощи пакета Asyncio / П. А. Савостин, Н. Э. Ефремова // NB: Кибернетика и программирование. – 2018. – №4. – URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=25851*

4. *Наумов, В. Б. Негосударственное цифровое сохранение культурного наследия: 15 лет опыта проекта «Сохраненная культура» / В. Б. Наумов // Информационное общество. – 2025. – № 5. – С. 20-32. – URL: http://infosoc.iis.ru/article/view/1489*

5 *Лютько, Е. (диакон). Соображения в связи с пастырством в цифровую эпоху [Электронный ресурс] / Е. Лютько // Лаборатория исследований церковных институций ПСТГУ. – 2025. – 18 июня. – URL: https://eirl.pstgu.ru/analytical?post=soobrazheniya-v-svyazi-s-pastyrstvom-v-cifrovuyu-epohu*

UDC 004.738.5:2-523.4(476–25)

WEBSITE OF THE PARISH OF THE CHURCH OF ST. CYRIL OF TUROV IN ZHABINKA: A DIGITAL PLATFORM FOR SPIRITUAL UNITY AND PRESERVATION OF THE CULTURAL HERITAGE OF THE BELARUSIAN ORTHODOX CHURCH AND ITS ERGONOMIC SUPPORT

Filimonyuk A.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Vorobey A.V. – Master of Sci., assistant of the Department of EPE

Annotation. A website has been developed for the parish of the Church of St. Cyril of Turov in the city of Zhabinka, which serves as a digital platform for the spiritual unity of parishioners and the preservation of the cultural and historical heritage of the Belarusian Orthodox Church. Modules for informing about the life of the parish (schedule of services, news), an interactive library of spiritual literature and a media archive, a system for collecting donations, as well as a personal account for communication with the priest were implemented. Particular attention is paid to the ergonomic support of interfaces aimed at different age groups of users. The server part is implemented in Python using the Django framework and the PostgreSQL DBMS, the client part is implemented using Django templates and adaptive layout. The development was carried out in the PyCharm environment running the macOS operating system.

Keywords: temple website, spiritual unity, cultural heritage, ergonomics, UI/UX, Django, Python, PostgreSQL, responsive design.

УДК 004.42:004.6:796.71

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА ТЕЛЕМЕТРИИ И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Герасимов К.Р.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Пархоменко Д.А. – магистр техн. и тех., ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. В статье представлено веб-приложение для анализа телеметрии болидов Формулы 1, разработанное с использованием Python, FastAPI и D3.js. Приложение предназначено для инженеров, аналитиков и любителей автоспорта. Оно обеспечивает визуализацию данных в реальном времени, сравнение гоночных кругов и интерактивную карту трассы. Цель разработки – упростить анализ гоночных параметров и сделать его доступным для широкой аудитории.

Ключевые слова: веб-приложение, телеметрия, Формула 1, анализ данных, Python, визуализация.

Введение. Анализ телеметрии играет ключевую роль в современном автоспорте, особенно в Формуле 1, где каждый миллиметр и миллисекунда имеют значение [1]. Болиды оснащены сотнями датчиков, передающих данные о скорости, оборотах двигателя, температуре шин, положении педалей и других параметрах. Инженеры используют эти данные для настройки болида, выбора стратегии и оценки действий пилота. Однако существующие профессиональные инструменты сложны и дороги, что ограничивает их доступность. Цель данной работы – создать удобное веб-приложение, которое позволит анализировать телеметрию без специального ПО и глубоких технических знаний.

Основная часть. Основной целью разработки является создание функционального и интуитивно понятного инструмента для анализа телеметрии. Приложение должно объединять ключевые возможности профессиональных систем в веб-интерфейсе.

Основные требования, предъявляемые к веб-приложению:

– надежность и безопасность при работе с данными;

– простая регистрация и настройка профиля;

– отображение телеметрии в реальном времени;

– построение интерактивных графиков с возможностью масштабирования и сравнения;

– визуализация траектории болида на карте трассы;

– сравнение кругов разных пилотов;

– адаптивный интерфейс для компьютеров и мобильных устройств.

Основные функции разрабатываемого веб-приложения описаны ниже.

1 Отображение телеметрии в реальном времени: пользователь может наблюдать за данными всех болидов на трассе: скорость, обороты двигателя, положение педалей газа и тормоза, температуру шин и тормозов, статус DRS. Информация обновляется непрерывно, что позволяет следить за действиями пилотов по ходу сессии.

2 Сравнение гоночных кругов: приложение дает возможность накладывать графики нескольких кругов для анализа различий. Можно сравнивать круги разных пилотов или разные попытки одного пилота, чтобы увидеть, где выигрывается или теряется время – в точках торможения, прохождении поворотов или разгоне [2].

3 Интерактивная карта трассы: на схеме автодрома отображаются текущие позиции болидов с цветовой индикацией выбранного параметра. При клике на болид показывается подробная информация о его телеметрии и времени круга.

4 Дополнительные аналитические модули: в приложении доступны разделы с текущей классификацией пилотов, погодными условиями (температура трассы и воздуха, влажность, ветер), а также данными об износе шин и расходе топлива для анализа стратегии [3].

Веб-приложение построено на клиент-серверной архитектуре. Серверная часть реализована на Python с использованием фреймворка FastAPI, обеспечивающего асинхронную обработку запросов и высокую производительность. Для работы с данными применяется библиотека Pandas, для хранения временных рядов – TimescaleDB. Клиентская часть написана на TypeScript с использованием библиотеки React. Для визуализации данных используется D3.js, для отображения карт – Deck.gl. Взаимодействие между клиентом и сервером осуществляется через REST API и WebSocket для потоковых данных.

Особое внимание при разработке уделено эргономике пользовательского интерфейса. Для различных категорий пользователей предусмотрена настройка рабочего пространства: можно изменять состав виджетов, их расположение и размеры. Цветовое кодирование параметров позволяет быстро оценивать ситуацию на трассе.

Графики синхронизированы по временной шкале – при масштабировании одного из них остальные автоматически подстраиваются, что упрощает поиск зависимостей между разными каналами данных. Адаптивная верстка обеспечивает комфортную работу как на широких мониторах инженерных станций, так и на планшетах, используемых персоналом на пит-лейне.

На рисунке 1 представлен прототип веб-приложения для анализа телеметрии болидов Формулы 1.

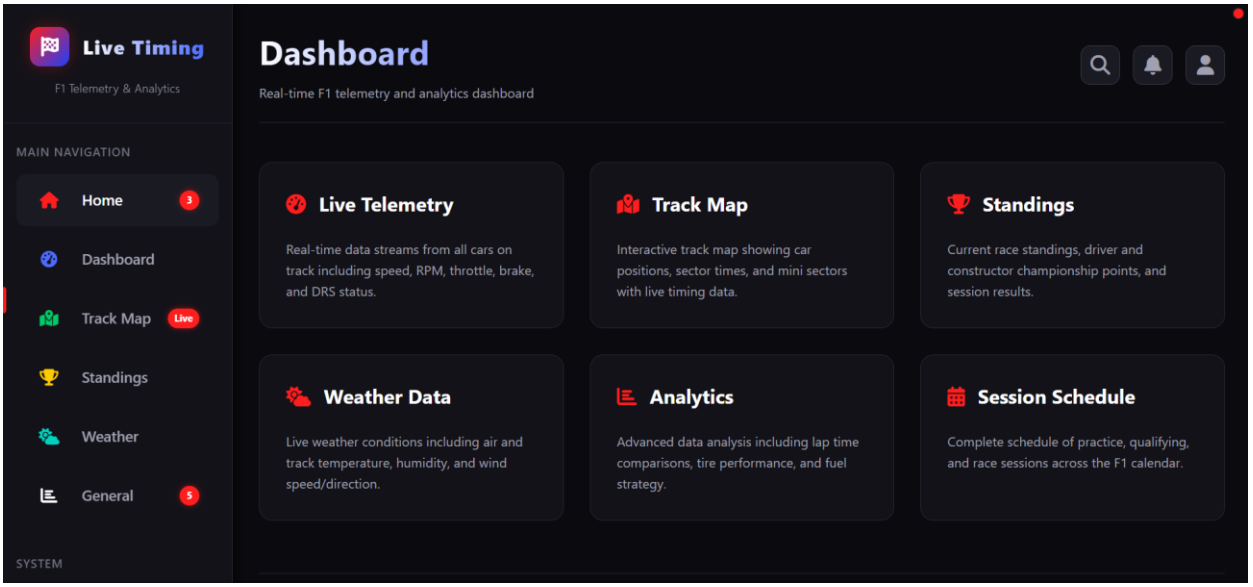


Рисунок 1 - Прототип главной страницы веб-приложения

Интерфейс включает левую панель навигации (Home, Dashboard, Track Map, Standings, Weather, Analytics), центральную область с графиками телеметрии (скорость, обороты, газ/тормоз) и правую панель с дополнительной информацией (позиция пилота, времена кругов, состояние шин). Такая компоновка обеспечивает быстрый доступ ко всем функциям.

Разработанное веб-приложение позволяет пользователю анализировать телеметрию болидов Формулы 1, проводить сравнение кругов и получать детальную информацию о параметрах пилотирования. Веб-приложение обладает следующими преимуществами:

– безопасность данных с шифрованием и двухфакторной аутентификацией;

– разграничение доступа для различных ролей пользователей (инженер, аналитик, гость);

– интерактивная аналитическая панель для визуализации телеметрии и сравнения кругов;

– доступ через веб-интерфейс без установки дополнительного программного обеспечения;

– высокая производительность при обработке больших объемов данных;

– интеграция с календарем гоночных сессий и системой уведомлений;

– справочные материалы по трассам и обучающий контент по анализу телеметрии.

На рынке присутствует несколько профессиональных пакетов для анализа телеметрии. Pi Toolbox (одно из самых распространённых решений в Формуле 1) предоставляет широкие

возможности для детального анализа, но требует установки на мощные рабочие станции, имеет высокий порог входа и ориентирован исключительно на инженеров.

McLaren Atlas предлагает схожий функционал, однако также является десктопным приложением с закрытым кодом. Существуют и облачные решения, например, AWS for F1, но они нацелены на крупные команды и требуют интеграции с инфраструктурой облачного провайдера.

Разработанное веб-приложение отличается доступностью, ориентацией на разные категории пользователей и возможностью гибкой настройки интерфейса под индивидуальные задачи. В отличие от аналогов, в нём реализованы современные подходы к визуализации данных (интерактивные графики D3.js, цветовое кодирование, синхронизация по времени), что повышает наглядность и скорость анализа.

Заключение. В результате анализа существующих решений для анализа телеметрии разработан программный продукт, отвечающий поставленным требованиям. Использование современных технологий, таких как FastAPI и D3.js, обеспечило высокую производительность и удобство использования. Разработанное решение упрощает процесс анализа гоночных параметров и может быть использовано как для самостоятельного изучения телеметрии, так и в качестве вспомогательного инструмента для гоночных инженеров. Приложение соответствует поставленным требованиям и готово к дальнейшему внедрению и тестированию в реальных условиях. В дальнейшем планируется расширение функционала приложения, включая интеграцию с реальными источниками телеметрии для автоматического получения данных и возможность синхронизации с профессиональными гоночными симуляторами [4]. Это позволит повысить точность анализа и обеспечить более тесное взаимодействие между инженерами и пилотами.

Список литературы

1. *Holt, J. Statistical Analysis of Important Factors Affecting Performance in Formula 1 Racing [Electronic resource] / J. Holt // Thesis, New College of Florida. – 2026. – Mode of access: https://digitalcommons.ncf.edu/theses_etds/6771/ – Date of access: 03.03.2026.*

2. *Todd, J. Explainable Time Series Prediction of Tyre Energy in Formula One Race Strategy [Electronic resource] / J. Todd, J. Jiang, A. Russo, S. Winkler, S. Sale, J. McMillan, A. Rago // arXiv preprint. – 2025. – No. arXiv:2501.04067. – Mode of access: https://arxiv.org/abs/2501.04067 – Date of access: 05.03.2026.*

3. *Sasikumar, A. Data-driven pit stop decision support for Formula 1 using deep learning models [Electronic resource] / A. Sasikumar, A.A. Leema, P. Balakrishnan // Frontiers in Artificial Intelligence. – 2025. – Vol. 8. – Article 1673148. – Mode of access: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frai.2025.1673148 – Date of access: 06.03.2026.*

4. *Shehadeh, S. Efficient Trajectory Optimization for Autonomous Racing via Formula-1 Data-Driven Initialization [Electronic resource] / S. Shehadeh, L. Kutsch, N. Dengler, S. Pan, M. Bennewitz // arXiv preprint. – 2026. – No. arXiv:2603.07126. – Mode of access: https://arxiv.org/html/2603.07126v1 – Date of access: 08.03.2026.*

UDC 004.42:004.6:796.71

WEB APPLICATION FOR TELEMETRY ANALYSIS AND ITS ERGONOMIC SUPPORT

Herasimau K.R.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Parkhomenko D.A. – Master of Sci., Senior Lecturer at the Department of EPE

Annotation. The article presents a web application for analyzing Formula 1 telemetry data, developed using Python, FastAPI, and D3.js. The application is intended for engineers, analysts, and motorsport enthusiasts. It provides real-time data visualization, lap comparison, and an interactive track map. The goal is to simplify racing data analysis and make it accessible to a wide audience.

Keywords: web application, telemetry, Formula 1, data analysis, Python, visualization.

УДК 004.774:37.091.214.18

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ «ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННЫЙ ПОДБОР ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ КУРСОВ И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ»

Кицун Д.Д.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,

г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Пархоменко Д.А. – магистр техн. и тех., ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. В работе рассматривается веб-приложение для персонализированного подбора образовательных курсов, а также его эргономическое обеспечение. Описаны ключевые функции системы, которая использует информацию о предпочтениях пользователя для формирования индивидуальных рекомендаций. Выделены такие функции, как определение образовательных предпочтений, создание индивидуального плана обучения, работа с каталогом курсов и страницей конкретной образовательной программой, оставление отзывов, ведение личного кабинета пользователя и настройка параметров системы. Выполнен анализ современных подходов к созданию рекомендательных систем и оценка эргономических характеристик разрабатываемого интерфейса. Построена диаграмма вариантов использования, которая представляет взаимодействие пользователя с основными функциями веб-приложения.

Ключевые слова: веб-приложение, Python, Django, PyCharm, пользователь, диаграмма вариантов использования.

Введение. Развитие цифровых технологий привело к росту числа образовательных платформ, однако разнообразие курсов затрудняет выбор программы, соответствующей личным интересам, опыту и профессиональным целям пользователя. Каталоги предлагают избыточную информацию, плохо структурированную и неудобную для анализа, что увеличивает временные затраты на поиск подходящего курса.

Проблема заключается в обработке большого объема разнородных данных: содержания курсов, квалификации педагогов, форматов обучения, стоимости, длительности, наличия отзывов и сертификатов. Отсутствуют стандартные инструменты сравнения и фильтрации, заставляя пользователей тратить много времени на самостоятельный поиск и анализ.

Для решения проблемы необходимы специализированные веб-сервисы, автоматически обрабатывающие данные и формирующие персональные рекомендации. Они смогут учитывать предпочтения пользователей, предыдущий опыт, профессиональные интересы и создавать удобные интерфейсы с интуитивной навигацией, понятным отображением сравнительных характеристик и адаптацией к разным устройствам.

Таким образом, создание удобного и эффективного инструмента позволит значительно упростить выбор курсов, снизит информационную нагрузку и повысит точность удовлетворения образовательных запросов пользователей.

Основная часть. Техническая реализация веб-приложения выполнена на языке Python с использованием фреймворка Django. Django представляет собой бесплатный фреймворк с открытым исходным кодом, который получил широкое распространение благодаря своей полнофункциональности и безопасности. Его ключевая особенность заключается в наличии встроенных инструментов для решения большинства типовых задач, включая объектно-реляционное отображение, панель администратора и механизмы аутентификации. Фреймворк разрабатывался с учетом требований к масштабируемости, что позволяет создавать как небольшие проекты, так и высоконагруженные системы, способные обрабатывать значительные объемы данных. Безопасность обеспечивается встроенной защитой от распространенных уязвимостей, а наличие обширного сообщества и качественной документации упрощает процесс разработки и поддержки приложений. Дополнительным преимуществом является гибкость архитектуры, позволяющая повторно использовать код и адаптировать готовые компоненты под специфику конкретного проекта [1].

Эффективность работы разработчика во многом определяется не только знанием фреймворка, но и инструментами, которыми он пользуется. В качестве интегрированной среды разработки был выбран PyCharm – мощный инструмент для языка Python, созданный компанией JetBrains. PyCharm объединяет в себе множество функций, необходимых для эффективного программирования, включая написание, тестирование, отладку и запуск кода в едином интерфейсе [2].

Проектируемое веб-приложение ориентировано на создание комфортной, интуитивно понятной и эффективной среды для взаимодействия пользователя с образовательным контентом. Ключевое преимущество системы заключается в индивидуальной настройке и адаптации под запросы каждого пользователя. Когда новый участник регистрируется в приложении, он сразу получает возможность выбрать категорию курсов, которая соответствует его интересам и целям, после чего программа регулярно обновляет предложение, исходя из активности и предпочтений пользователя, предлагая всё новые интересные материалы.

Простота интерфейса достигается благодаря ясной структуре и минимальным усилиям для освоения функционала. Главная страница отображает самые актуальные и рекомендуемые курсы, сгруппированные по тематическим направлениям, при этом каждый элемент страницы спроектирован так, чтобы минимизировать нагрузку на внимание пользователя и ускорить процесс принятия решения. Цветовая гамма интерфейса подчёркивает функциональность элементов и делает визуальное восприятие лёгким и приятным, позволяя сосредоточиться именно на содержании учебных материалов. Особое внимание уделено обратной связи: любое мнение реального ученика ценится высоко, поэтому каждый посетитель сможет оценить качество курса и поделиться впечатлениями, оставляя комментарии и рейтинги. Такой подход создаёт доверительную атмосферу и даёт уверенность новым участникам при выборе образовательной программы. Благодаря комплексному подходу, каждый студент находит подходящее образование быстро и комфортно, формируя собственный уникальный путь профессионального роста.

На этапе проектирования важным шагом является описание функциональных требований к системе, для чего используется универсальный язык моделирования, а именно диаграмма вариантов использования, или прецедентов. Диаграмма прецедентов представляет собой графическое изображение вариантов использования системы, акторов и их взаимодействия в виде эллипсов и прямоугольников, где варианты использования описывают функциональность системы с точки зрения ее пользователей, а акторы представляют внешние сущности, которые взаимодействуют с системой [3]. Разработанная диаграмма вариантов использования демонстрирует ключевые сценарии взаимодействия пользователя с образовательной онлайн-платформой, охватывая процессы регистрации и аутентификации, создание и управление личной коллекцией курсов, прохождение учебного процесса с выполнением заданий и контролем прогресса, оплату услуг и коммуникацию с поддержкой. Центральное место в этой модели занимает взаимодействие пользователя с учебными материалами, получение консультаций и обратной связи, а также завершение обучения с получением сертификата. Диаграмма подчеркивает целостность и удобство пользовательского опыта на каждом этапе образовательного маршрута, закладывая основу для дальнейшей разработки архитектуры базы данных и пользовательского интерфейса.

Диаграмма вариантов использования приложения представлена на рисунке 1.

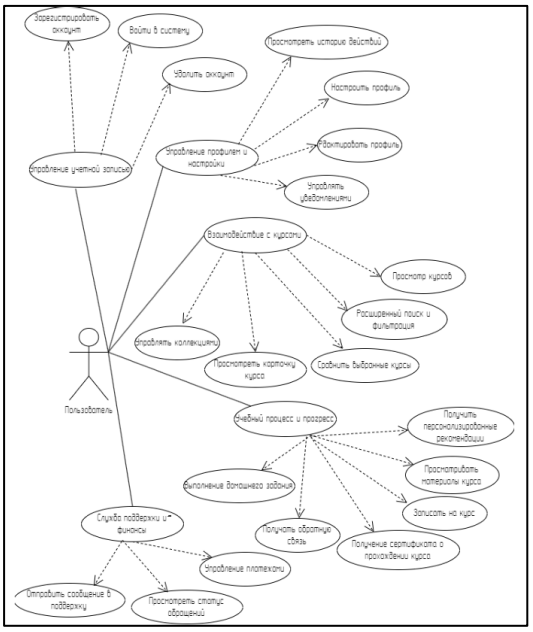


Рисунок 1 - Диаграмма вариантов использования

Диаграмма наглядно показывает функциональные возможности системы, предоставленные пользователю, а также их взаимосвязи.

Заключение. Персонализированная веб-платформа для подбора образовательных курсов станет современным и эффективным цифровым инструментом, доступным широкому кругу пользователей. Применение инновационных технологических решений обеспечит удобную и рациональную организацию процесса выбора образовательных программ, значительно повысив качество и скорость принятия решений пользователями.

Список литературы

1. *Введение в Django [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://metanit.com/python/django/1.1.php. Дата доступа: 22.02.2026*
2. *PyCharm [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://kurshub.ru/journal/blog/pycharm-eto/. Дата доступа: 22.02.2026*
3. *Диаграмма вариантов использования (Use Case Diagram) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://itonboard.ru/analysis/629-diagramma_variantov_ispolzovanija_use_case_diagram/. Дата доступа: 24.02.2026*

UDC 004.774:37.091.214.18

WEB APPLICATION PERSONALIZED SELECTION OF EDUCATIONAL COURSES AND ITS ERGONOMIC SUPPORT

Kitsun D.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Parhomenko D.A. – Master of Sci., Senior Lecturer at the Department of Engineering Psychology and Ergonomics

Annotation. The paper considers a web application for the personalized selection of educational courses, as well as its ergonomic support. The key functions of the system, which uses information about user preferences to form individual recommendations, are described. Such functions as determining educational preferences, creating an individual training plan, working with the course catalog and the page of a specific educational program, leaving feedback, maintaining a user's personal account and configuring system parameters are highlighted. An analysis of modern approaches to the creation of recommendation systems and an assessment of the ergonomic characteristics of the interface being developed are performed. The use cases diagram is constructed. It represents the user's interaction with the main functions of the web application.

Keywords: web application, Python, Django, PyCharm, user, use case diagram.

УДК [004.774+379.8]:331.101.1-047.74

ВЕБ-ПЛАТФОРМА ДЛЯ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ КОГНИТИВНОЙ НАГРУЗКОЙ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ УСТАЛОСТИ И ЕЕ ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Замотаев А.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Егоров В.В. – ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. В условиях роста объёма цифровой информации и увеличения продолжительности работы за компьютером возрастает риск когнитивной перегрузки и интеллектуальной усталости пользователей. В работе рассматривается разработка веб-платформы, предназначенной для мониторинга уровня когнитивной нагрузки и поддержки пользователей при выполнении интеллектуальных задач. Предложена архитектура системы, включающая модули анализа активности пользователя, оценки когнитивной нагрузки и формирования рекомендаций по оптимизации режима работы. Рассмотрены эргономические аспекты интерфейса и методы визуализации состояния пользователя. Показано, что применение подобной платформы может способствовать снижению интеллектуальной усталости и повышению эффективности работы.

Ключевые слова: когнитивная нагрузка, интеллектуальная усталость, веб-платформа, мониторинг активности, эргономика интерфейса, продуктивность.

Введение. Современная профессиональная и учебная деятельность всё чаще связана с длительной работой в цифровой среде. Постоянное взаимодействие с информационными системами, многозадачность и необходимость обработки больших объёмов данных приводят к повышению когнитивной нагрузки на пользователя. При длительном воздействии это может вызывать интеллектуальную усталость, снижение концентрации внимания и падение эффективности деятельности [1]. Одним из направлений решения данной проблемы является разработка цифровых инструментов, позволяющих анализировать состояние пользователя и адаптировать рабочий процесс с учётом его когнитивных возможностей. Современные веб-технологии позволяют создавать платформы, которые способны отслеживать активность пользователя, оценивать уровень нагрузки и предоставлять рекомендации по оптимизации режима работы.

Целью данной работы является разработка концепции веб-платформы для мониторинга и управления когнитивной нагрузкой пользователя, а также исследование эргономических принципов её интерфейса.

Основная часть. Предлагаемая веб-платформа ориентирована на мониторинг когнитивной активности пользователя и формирование рекомендаций, направленных на снижение интеллектуальной усталости. В отличие от обычных инструментов отслеживания времени работы, система не ограничивается фиксацией продолжительности активности, а анализирует совокупность параметров взаимодействия пользователя с интерфейсом, позволяющих оценивать уровень когнитивной нагрузки. Полученные данные структурируются в базе данных и используются для построения статистики активности, выявления признаков перегрузки и генерации рекомендаций по оптимизации режима работы пользователя [2]. Архитектура системы предусматривает разграничение прав доступа и включает несколько уровней пользователей в зависимости от их роли и функциональных возможностей (таблица 1):

Таблица 1 – Уровни доступа пользователей

Уровень	Наименование	Верификация	Основные права
0	Гость	Не требуется	Просмотр общей информации о платформе
1	Пользователь	Регистрация по электронной почте	Доступ к личному кабинету, просмотр собственных показателей когнитивной нагрузки, получение базовых рекомендаций по снижению интеллектуальной усталости
2	Зарегистрированный пользователь	Подтверждение электронной почты и заполнение профиля	Полный доступ к функциям мониторинга активности, просмотр статистики за выбранные периоды времени, получение персонализированных рекомендаций и уведомлений
3	Специалист (психолог / исследователь)	Подтверждение учётной записи администратором	Доступ к обезличенной аналитике пользователей, анализ статистических данных, формирование рекомендаций и методических материалов
4	Администратор	-	Управление пользователями, настройка параметров анализа когнитивной нагрузки, контроль работы платформы, просмотр статистики использования системы, управление контентом и настройками платформы

Функциональная архитектура платформы включает несколько ключевых модулей: модуль сбора данных активности пользователя, модуль анализа когнитивной нагрузки, модуль управления состоянием пользователя и модуль визуализации результатов анализа.

Модуль сбора данных активности пользователя предназначен для регистрации параметров взаимодействия пользователя с системой. В качестве входных данных анализируются различные характеристики поведения пользователя, включая продолжительность непрерывной работы, частоту взаимодействия с интерфейсом, скорость выполнения операций и частоту переключения между задачами. Сбор данных осуществляется с использованием клиентских скриптов, фиксирующих события пользовательского взаимодействия (нажатия клавиш, перемещения указателя, переходы между элементами интерфейса). Полученная информация агрегируется и передаётся на серверную часть системы для дальнейшей обработки.

Модуль анализа когнитивной нагрузки выполняет обработку полученных данных и вычисляет интегральный показатель когнитивной нагрузки пользователя. Оценка производится на основе набора статистических показателей и эвристических правил, отражающих особенности взаимодействия человека с компьютерной системой. Подобные методы широко применяются в исследованиях взаимодействия человека и компьютера и позволяют выявлять признаки снижения концентрации внимания и роста интеллектуальной усталости [2].

Для оценки состояния пользователя используются такие показатели, как коэффициент интенсивности работы, коэффициент переключения задач, стабильность взаимодействия с интерфейсом и длительность непрерывной когнитивной активности. На основе совокупности этих параметров система определяет текущий уровень когнитивной нагрузки, который может быть классифицирован как низкий, средний или высокий. Модуль визуализации и пользовательского интерфейса обеспечивает представление результатов анализа в удобной и наглядной форме. В интерфейсе реализуются индикаторы текущего уровня когнитивной нагрузки, графики изменения активности пользователя во времени и статистика периодов работы и отдыха. При проектировании интерфейса учитываются принципы эргономики и пользовательского опыта: минимизация визуальной перегрузки, использование простых графических элементов и ненавязчивых уведомлений [3].

Модуль управления состоянием пользователя отвечает за формирование рекомендаций на основе результатов анализа. Если система фиксирует повышение когнитивной нагрузки или длительное время непрерывной работы, пользователю предлагаются рекомендации по оптимизации режима деятельности. Такие рекомендации могут включать предложение сделать кратковременный перерыв, изменить тип выполняемой задачи или снизить интенсивность

работы. Подобный подход соответствует принципам эргономического проектирования рабочих процессов, направленных на предотвращение переутомления и повышение эффективности деятельности человека [4].

Дополнительно система может формировать аналитические отчёты за различные временные периоды (день, неделя, месяц), позволяя пользователю анализировать собственные рабочие привычки и выявлять факторы, влияющие на возникновение интеллектуальной усталости. Подобные инструменты самоанализа широко применяются в современных системах поддержки продуктивности и позволяют повысить осознанность пользователя в отношении собственной когнитивной активности [5].

Монетизация платформы может быть реализована через несколько направлений. Базовые функции системы могут предоставляться бесплатно, а расширенные возможности аналитики и персонализированные рекомендации – по подписке.

Платформа также может использоваться организациями для анализа когнитивной нагрузки сотрудников и оптимизации рабочих процессов. Дополнительно возможны партнёрские интеграции с образовательными сервисами и системами управления задачами, а также предоставление решения по модели White Label для компаний и образовательных учреждений.

Заключение. В работе предложена концепция веб-платформы для мониторинга и управления когнитивной нагрузкой пользователя. Рассмотрена архитектура системы, включающая модули сбора и анализа данных активности, формирования рекомендаций и визуализации состояния пользователя. Применение подобных систем может способствовать снижению интеллектуальной усталости, повышению эффективности деятельности пользователей и более рациональной организации работы в цифровой среде.

Список литературы

1. *Sweller, J. Cognitive Load Theory / J. Sweller. – New York: Springer, 2011. – 402 p.*
2. *Wickens, C. Engineering Psychology and Human Performance / C. Wickens, J. Hollands. – New York: Routledge, 2015. – 624 p.*
3. *Nielsen, J. Usability Engineering / J. Nielsen. – San Diego: Academic Press, 1993. – 362 p.*
4. *Norman, D. The Design of Everyday Things / D. Norman. – New York: Basic Books, 2013. – 368 p.*
5. *Lazar, J. Human-Computer Interaction / J. Lazar, J. Feng, H. Hochheiser. – Cambridge: Morgan Kaufmann, 2017. – 464 p.*

UDC [004.774+379.8]:331.101.1-047.74

WEB PLATFORM FOR MONITORING AND MANAGING COGNITIVE LOAD TO REDUCE MENTAL FATIGUE AND ITS ERGONOMIC SUPPORT

Zamotaev A.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Egorov V.V. – Senior lecturer at the Department of EPE

Annotation. The increasing amount of digital information and prolonged computer use lead to a higher risk of cognitive overload and mental fatigue. This paper presents the development of a web platform designed to monitor cognitive load and support users during intellectual work. The proposed system architecture includes modules for user activity analysis, cognitive load assessment, and recommendation generation. Ergonomic aspects of the interface and visualization methods are also discussed. The implementation of such a platform can help reduce mental fatigue and improve user productivity.

Keywords: cognitive load, mental fatigue, web platform, activity monitoring, interface ergonomics, productivity.

УДК 004.738.5:94

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ИСТОРИИ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ

Глушко А.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Пилиневич Л.П. – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры ИПиЭ

Аннотация. В данной работе решается задача создания веб-приложения для изучения истории Великой Отечественной войны с использованием современных технологий. Разрабатываемая система обеспечивает удобный интерфейс, быструю обработку данных и эффективные образовательные подходы.

Ключевые слова: история, веб-приложение, образование, интерактивная карта, алгоритм.

Введение. В современном мире процессы цифровизации охватывают все сферы общественной жизни, включая историческое образование и сохранение культурного наследия. С развитием интернет-технологий перед пользователями открываются широкие возможности для изучения прошлого. Однако возрастающее количество исторических материалов, представленных в сети, порождает и новую проблему – проблему навигации в информационном пространстве и отделения достоверных сведений от поверхностных или искаженных трактовок.

Особую значимость эта проблема приобретает в контексте изучения событий Великой Отечественной войны. Являясь ключевым событием в истории Беларуси и других государств постсоветского пространства, война 1941–1945 годов продолжает оставаться объектом пристального общественного внимания.

Однако традиционные методы преподавания и изучения истории сталкиваются с вызовами современного цифрового поколения. Как отмечает учитель истории Я.В. Полубан, «традиционные методы преподавания истории, безусловно, имеют свою ценность. Но давайте будем честны: для многих учеников прошлое кажется далеким и неинтересным. Цифровые же технологии открывают новые горизонты, позволяя сделать прошлое живым и наглядным» [1]. Эту мысль развивает Е.А. Фесенко, подчеркивая, что «в современном мире, пронизанном цифровыми технологиями, традиционные методы преподавания истории часто оказываются неэффективными. В этой ситуации ИКТ становятся мощным инструментом, позволяющим сделать историю интересной, доступной и актуальной для современного поколения» [2].

Существующие на сегодняшний день интернет-ресурсы, посвященные Великой Отечественной войне, представлены преимущественно электронными архивами, энциклопедиями и новостными порталами. При всей их ценности они обладают рядом ограничений: информация в них часто фрагментирована по различным источникам, отсутствует единая система навигации.

Таким образом, возникает объективная потребность в создании специализированного веб-приложения, которое объединило бы в себе функции каталогизации исторических материалов, интерактивной навигации по временной и пространственной шкале, а также инструменты для проверки и закрепления полученных знаний.

Основная часть. Разрабатываемое веб-приложение представляет собой специализированную информационно-образовательную платформу, построенную по клиент-серверной архитектуре. Клиентская часть, реализованная как веб-интерфейс, доступный через браузер, обеспечивает взаимодействие пользователя с системой. Серверная часть отвечает за хранение и обработку структурированных исторических данных, аутентификацию пользователей, формирование персонализированных подборок и предоставление API для клиентского приложения. Основное назначение платформы – систематизация знаний о Великой Отечественной войне и предоставление пользователям инструментов для их последовательного и глубокого изучения.

В отличие от традиционных электронных библиотек и архивов, где навигация ограничивается рубрикаторами, и, поиском по ключевым словам, предлагаемое решение реализует многоуровневую систему организации исторического контента, объединяющую хронологический, пространственный и тематический подходы к структурированию информации.

Хронологический подход реализуется через интерактивный исторический календарь, позволяющий пользователю перемещаться по датам Великой Отечественной войны и получать релевантную временному периоду подборку материалов. Пространственный подход обеспечивается интерактивным историческим атласом с возможностью визуализации боевых действий и изменения линии фронта в привязке к конкретным датам. Тематический подход реализуется через систему рубрикации контента по разделам: «Сражения», «Личности», «Техника и вооружение», «Тыл», «Оккупация и партизанское движение», «Культура военных лет», «Международные отношения».

Объединение трех подходов в единой платформе создает необходимый эффект: пользователь получает возможность изучать исторические события одновременно в их временной последовательности, географической привязке и тематической взаимосвязи.

Таким образом, в основе разрабатываемого приложения лежит концепция интеграции разнородных исторических данных в единое информационное пространство с возможностью навигации и персонализации образовательного процесса. Это позволяет преодолеть фрагментарность знаний, характерную для бессистемного изучения истории, и сформировать у пользователя целостное представление о событиях Великой Отечественной войны.

Заключение. Современные веб-приложения прочно закрепились в жизни каждого человека. Каждый популярный сервис стремится стать удобным инструментом для решения конкретных задач. Веб-приложение для изучения истории Великой Отечественной войны должно дополнить перечень решений в области образовательных ресурсов переосмысленным функционалом и стать хорошим помощником в одной из важных составляющих жизни человека – сохранении исторической памяти.

Список литературы

1. Полубан, Я.В. Цифровые технологии в преподавании истории [Электронный ресурс] / Я.В. Полубан // Образовательный портал Инфоурок. – 2026. – Режим доступа: https://infourok.ru. – Дата доступа: 9.03.2026.

2. Фесенко, Е.А. Формирование исторической грамотности с помощью цифровых ресурсов: опыт и перспективы [Электронный ресурс] / Е.А. Фесенко // Академия педагогических проектов РФ. – 2025. – Режим доступа: https://педакадемия.рф. – Дата доступа: 9.03.2026.

UDC 004.738.5:94

WEB APPLICATION FOR STUDYING THE HISTORY OF THE GREAT PATRIOTIC WAR

Hlushko A.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Pilinevich L.P. – Dr. of Sci, Professor, Professor of the Department of EPE

Annotation. This paper addresses the task of creating a web application for studying the history of the Great Patriotic War using modern technologies. The developed system provides a user-friendly interface, fast data processing, and and effective educational approaches.

Keywords: history, web application, education, interactive map, algorithm.

УДК [004.774+379.8]:331.101.1-047.74

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ФОРМИРОВАНИЯ И ПОДДЕРЖКИ ПОЛЕЗНЫХ НАВЫКОВ И ПСИХОЛОГИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ И ЕЕ ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Романов К.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Егоров В.В. – старший преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. В статье рассматривается проблема низкой эффективности традиционных цифровых инструментов для формирования привычек, вызывающих у пользователей фрустрацию и когнитивную перегрузку. Предложена концепция интеллектуальной системы, ориентированной на психологическую адаптацию пользователя в моменты срывов. Научно обоснованы принципы эргономического обеспечения интерфейса, направленные на минимизацию стресса. Разработана сравнительная модель традиционного и адаптивного подходов к удержанию полезных навыков.

Ключевые слова: когнитивная эргономика, полезные привычки, психологическая адаптация, интеллектуальная система, микросервисная архитектура, интерфейс.

Введение. В условиях цифровизации формирование полезных навыков и поддержание психологического здоровья становится сложной задачей. Существующие трекеры привычек построены на жесткой системе контроля (поддержание «непрерывной серии»). При пропуске дней возникает эффект нарушения воздержания, ведущий к чувству вины и отказу от навыка [1]. Перегруженные геймификацией интерфейсы нарушают принципы когнитивной эргономики, вызывая информационный стресс. Цель работы – концептуальное обоснование интеллектуальной системы, выступающей адаптивным помощником для эргономичной интеграции новых навыков и психологической поддержки пользователя.

Основная часть. Научное обоснование разрабатываемой системы базируется на интеграции модели поведения Б. Дж. Фогга и методов когнитивно-поведенческой терапии [2]. Согласно модели Фогга, для выполнения целевого действия необходимо одновременное совпадение трех элементов: мотивации, способности и триггера. Традиционные системы воздействуют только на триггеры (push-уведомления), игнорируя динамику мотивации и текущие психофизиологические способности человека.

Предлагаемая интеллектуальная система использует алгоритмы анализа данных для оценки текущего состояния пользователя. Принципиальное отличие системы от аналогов заключается в переходе от бинарной логики («выполнено / не выполнено») к градиентной адаптивной логике.

Ядром системы выступает интеллектуальный агент, анализирующий паттерны поведения пользователя. В случае выявления систематических пропусков выполнения привычки система не отправляет стандартизированное напоминание, а активирует модуль психологической адаптации. Пользователю предлагается короткий эргономичный опросник (шкала Лайкерта или выбор эмоциональных паттернов) для выявления причины фрустрации: усталость, нехватка времени, потеря смысла.

На основе полученных данных система применяет стратегию «микрошагов» (Micro-stepping). Например, если у пользователя нет ресурса на чтение 20 страниц книги, система легитимизирует снижение нагрузки и предлагает прочитать всего 1 абзац. С психологической точки зрения это предотвращает разрыв «петли привычки» и сохраняет нейронную связь между триггером и действием, исключая чувство вины [3].

Эффективность интеллектуальных алгоритмов напрямую зависит от того, насколько эргономично они представлены пользователю. Проектирование визуальной среды приложения опирается на принципы инженерной психологии и направлено на радикальное снижение когнитивной нагрузки.

Визуальный минимализм и управление вниманием. Интерфейс строится по принципу прогрессивного раскрытия информации (Progressive Disclosure). На главном экране

отображается не более 3–4 приоритетных элементов (правило Миллера, 7±2, адаптированное для условий цифрового стресса). Вторичные функции (статистика, настройки) скрыты на нижних уровнях навигации, что исключает расфокусировку внимания.

Цветовая эргономика. В отличие от стандартных приложений, использующих красный цвет для обозначения просроченных задач, разрабатываемая система исключает агрессивные паттерны. Пропуски маркируются нейтральными оттенками (серый, приглушенный синий), что на уровне подсознания снижает выработку кортизола (гормона стресса) при взаимодействии с интерфейсом.

Эргономика взаимодействия (Interaction Design). Система минимизирует количество кликов для подтверждения действия (закон Хика). Используются плавные микроанимации, которые, согласно исследованиям в области когнитивной эргономики, обеспечивают мозгу необходимую микропаузу для осознания завершенности действия и получения дофаминового подкрепления.

Экологичность уведомлений. Реализован механизм «тихих часов» и интеллектуальной маршрутизации уведомлений. Система обучается определять периоды максимальной когнитивной загруженности пользователя и откладывает доставку сообщений до моментов естественных пауз в течение дня.

Комплексное применение описанных принципов позволяет создать цифровую среду, которая не воспринимается человеком как враждебная или требующая постоянного напряжения, что критически важно для этапа психологической адаптации.

Заключение. Предложена концепция интеллектуальной системы формирования полезных навыков, в основе которой лежат принципы инженерной психологии и когнитивно-поведенческой терапии. Доказано, что традиционные методы жесткого трекинга провоцируют фрустрацию и отказ от формирования привычки. Внедрение интеллектуальных агентов, способных адаптировать сложность задачи под текущее психоэмоциональное состояние пользователя, в сочетании с глубоким эргономическим обеспечением интерфейса (снижение когнитивной нагрузки, отсутствие агрессивных триггеров) позволяет создать эффективный инструмент не только для тайм-менеджмента, но и для сохранения ментального здоровья в условиях высоких информационных нагрузок.

Список литературы

1. *Duhigg, C. The Power of Habit: Why We Live and Work the Way We Do / C. Duhigg. Moscow: AST, 2017. 416 p.*

2. *Fogg, B.J. Nanohabits: Small Steps to Make a Big Difference / B.J. Fogg. Moscow: Bombora, 2021. 320 p.*

3. *Munipov, V.M. Ergonomics: Human-Centered Design of Technology, Software, and the Environment / V.M. Munipov, V.P. Zinchenko. Moscow: Logos, 2001. 356 p.*

4. Piskun, G. A. Cognitive Ergonomics of User Interfaces in Habit-Forming Applications / G. A. Piskun, T. V. Kazak // Journal of Engineering Psychology and Cognitive Technologies. 2023. Vol. 5, No 2. P. 112–125.

UDC [004.774+379.8]:331.101.1-047.74

INTELLIGENT SYSTEM FOR THE FORMATION AND SUPPORT OF USEFUL HABITS AND PSYCHOLOGICAL ADAPTATION AND ITS ERGONOMIC SUPPORT

Ramanau K.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Egorov V.V. – Senior lecturer of the Department EPE

Annotation. The article considers the problem of low efficiency of traditional digital tools for habit formation, which cause user frustration and cognitive overload. The concept of an intelligent system focused on the psychological adaptation of the user in moments of breakdown is proposed. The principles of ergonomic support of the interface aimed at minimizing stress are scientifically substantiated. A comparative model of traditional and adaptive approaches to the retention of useful skills is developed.

Keywords: cognitive ergonomics, useful habits, psychological adaptation, intelligent system, frustration, cognitive load.

УДК 004.9:661

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА И КОНТРОЛЯ ЗАПАСОВ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ И ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Шамрило И.Г.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Швед Е.И. – ассистент кафедры ИПиЭ

Аннотация. В работе рассматривается разработка программного обеспечения для автоматизации учета и контроля хранения опасных химических веществ. Описана архитектура приложения, реализованная на языке C++ с использованием фреймворка Qt. Особое внимание уделено алгоритмам проверки совместимости веществ при размещении на складе, контролю сроков годности и реализации системы отчетности. Предложенное решение направлено на снижение рисков аварийных ситуаций и повышение уровня промышленной безопасности.

Ключевые слова: автоматизация учета, опасные вещества, химическая безопасность, Qt, C++, PostgreSQL.

Введение. Обеспечение безопасного хранения химических веществ является важнейшей задачей для промышленных предприятий, научно-исследовательских лабораторий и образовательных организаций. Нарушение условий хранения, размещение несовместимых реагентов или использование веществ с истекшим сроком годности может привести к пожарам, выбросам токсичных веществ и другим чрезвычайным ситуациям [1].

Традиционные методы учета, основанные на бумажных журналах или универсальных электронных таблицах, не обеспечивают автоматизированного контроля совместимости и сроков годности. Отсутствие встроенных механизмов валидации увеличивает вероятность ошибок, связанных с человеческим фактором.

Целью работы является разработка специализированной информационной системы мониторинга и контроля запасов опасных веществ, обеспечивающей централизованный учет, автоматическую проверку условий хранения и формирование отчетности.

Основная часть. Разработанная система представляет собой клиентское приложение, реализованное на языке программирования C++ с использованием фреймворка Qt [2]. Выбор данной технологической платформы обусловлен необходимостью создания производительного и устойчивого программного решения с удобным графическим интерфейсом. Для хранения и обработки данных применяется система управления базами данных PostgreSQL, обеспечивающая поддержку конкурентного доступа и разграничение прав пользователей. Использование PostgreSQL позволяет организовать централизованную структуру хранения информации и обеспечить одновременную работу нескольких сотрудников склада или лаборатории [3].

Информационная модель системы охватывает сведения о химических веществах, их партиях, местах хранения и операциях движения. В каталоге веществ фиксируются наименование, CAS-номер, класс опасности согласно глобальной гармонизированной системе классификации и маркировки химических веществ (GHS), а также дополнительные характеристики, влияющие на условия хранения [4]. Учет ведется по партиям, каждая из которых имеет уникальный идентификатор, дату поступления, срок годности, количество и серийный номер. Пространственная организация склада представлена иерархической структурой, включающей сектора, стеллажи и отдельные ячейки, для которых задаются допустимые параметры температуры, влажности и предельная вместимость.

Ключевым элементом системы является алгоритм приёма партии химического вещества на склад с автоматической проверкой совместимости, данный алгоритм представлен на рисунке 1. Алгоритм реализует многоуровневую систему контроля, охватывающую все этапы от ввода данных до окончательного размещения партии в ячейке хранения.

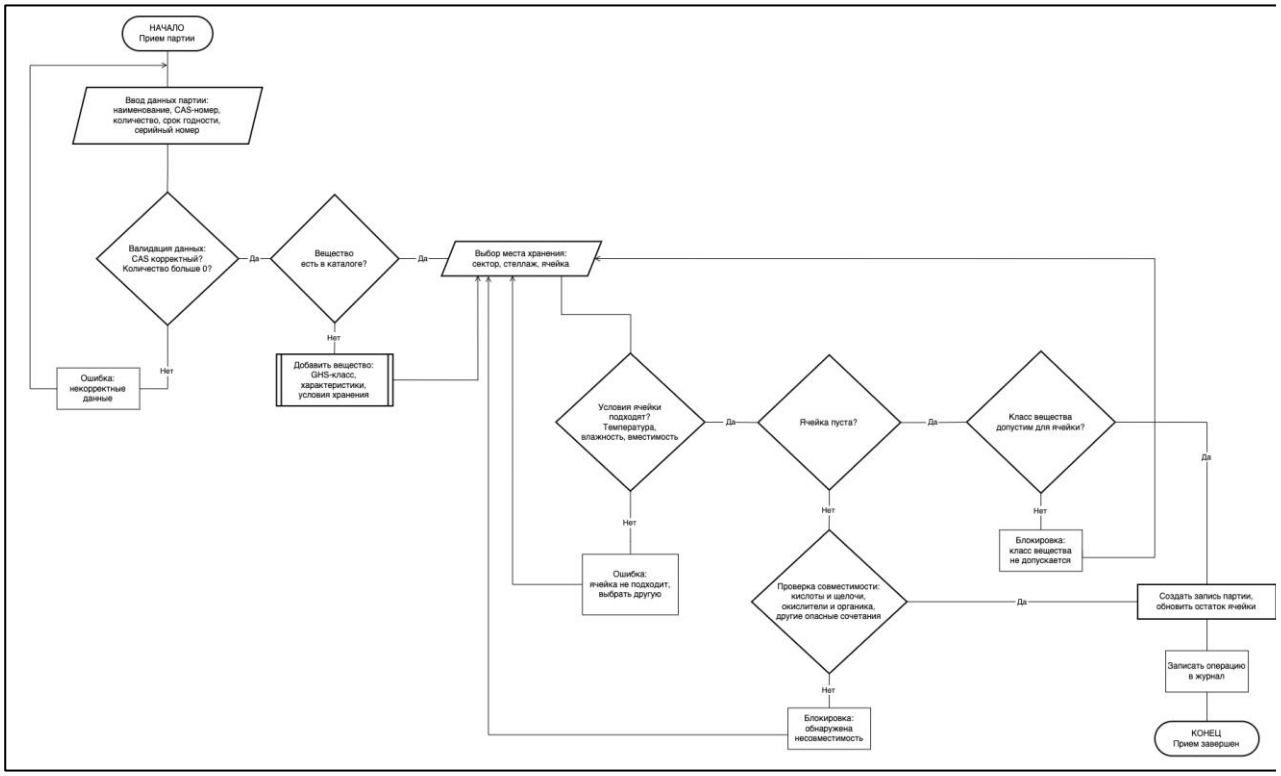


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма приёма партии химического вещества на склад с проверкой совместимости

На первом этапе оператор вводит данные поступающей партии: CAS-номер вещества, количество, срок годности и серийный номер. Система выполняет валидацию введённых данных, проверяя корректность формата CAS-номера, положительность количества и допустимость указанного срока годности. В случае обнаружения ошибок оператору предлагается повторить ввод.

Далее выполняется проверка наличия вещества в каталоге системы. Если вещество с указанным CAS-номером отсутствует, оператору предлагается создать новую запись с указанием класса опасности по GHS, физико-химических характеристик и требуемых условий хранения. После идентификации вещества оператор выбирает ячейку для размещения партии из иерархической структуры склада.

На следующем этапе система проверяет соответствие условий выбранной ячейки требованиям хранения данного вещества. Контролируются допустимые диапазоны температуры и влажности, а также свободная вместимость ячейки. Если условия не соответствуют требованиям, операция отклоняется с предложением выбрать альтернативную ячейку.

Центральным звеном алгоритма является проверка совместимости размещаемого вещества с уже хранящимися в ячейке реагентами. Если ячейка пуста, выполняется проверка допустимости класса вещества для данной ячейки в соответствии с заданными ограничениями хранения. Если в ячейке уже содержатся другие партии, система анализирует принадлежность добавляемого и имеющихся веществ к функциональным группам и сопоставляет их на предмет потенциально опасных сочетаний: кислот и щелочей, окислителей и органических соединений, а также иных опасных комбинаций. Анализ выполняется на основе формализованных правил, заложенных в базе данных, что позволяет гибко расширять перечень проверок без изменения общей архитектуры системы. При выявлении несовместимости операция блокируется, пользователю выводится предупреждение с указанием конкретных конфликтующих веществ, а факт попытки некорректного размещения фиксируется в журнале инцидентов. Таким образом, алгоритм обеспечивает не только контроль текущей операции, но и формирование базы данных потенциально опасных ситуаций.

При успешном прохождении всех проверок в базе данных создается запись о новой партии, обновляется информация о заполненности ячейки, а в журнал операций вносится запись о приёме с указанием ответственного сотрудника, даты и времени выполнения.

Все операции приема, отпуска, перемещения и списания фиксируются в журнале с указанием пользователя, даты и основания выполнения действия. Предусмотрено ведение журнала инцидентов, в котором регистрируются случаи нарушения условий хранения или попытки выполнения некорректных операций.

Заключение. Разработанная система мониторинга и контроля запасов опасных веществ представляет собой специализированное программное решение, ориентированное на обеспечение промышленной и лабораторной безопасности. Использование языка C++ и фреймворка Qt позволило создать производительное клиентское приложение, а применение PostgreSQL обеспечило надежное централизованное хранение данных и поддержку многопользовательского режима.

Внедрение системы способствует снижению риска аварийных ситуаций за счет автоматической проверки корректности размещения химических веществ, предотвращению использования просроченных реагентов и повышению прозрачности складских операций. Перспективы дальнейшего развития связаны с интеграцией системы с датчиками мониторинга микроклимата и расширением аналитических возможностей для прогнозирования потребности в химических реагентах.

Кроме того, разработанное решение может использоваться не только в промышленных условиях, но и в учебных лабораториях и научно-исследовательских центрах, где требуется строгий учет химических реагентов. Универсальность архитектуры и возможность масштабирования делают систему перспективной основой для построения комплексных платформ управления химической безопасностью.

Список литературы

1. Поляков, В. В. Основы безопасности труда и промышленной экологии : учебное пособие / В. В. Поляков. – Москва : КНОРУС, 2020. – 256 с.

2. Шлее, М. Qt 6. Разработка оконных приложений на C++ / М. Шлее. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2022. – 1024 с.

3. Моргунов, Е. П. PostgreSQL. Основы языка SQL : учебное пособие / Е. П. Моргунов. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2022. – 336 с.

4. ГОСТ 31340-2013. Предупредительная маркировка химической продукции. Общие требования. – М. : Стандартинформ, 2014. – 46 с.

UDC 004.9:661

SYSTEM OF MONITORING AND CONTROL OF STOCKS OF DANGEROUS SUBSTANCES AND CHEMICAL COMPOUNDS

Shamryla I.G.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Shved E.I. – Assistant of the department of EPE

Annotation. The paper considers the development of software for automation of accounting and control of storage of hazardous chemicals. The architecture of the application, implemented in C++ using the Qt framework, is described. Special attention is paid to the algorithms for checking the compatibility of substances during storage, expiration dates and the implementation of a reporting system. The proposed solution is aimed at reducing the risks of emergency situations and increasing the level of industrial safety.

Keywords: accounting automation, hazardous substances, chemical safety, Qt, C++, PostgreSQL.

УДК 004.55:004.5

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ «АГРЕГАТОР ОБЩЕСТВЕННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ» И ЕГО ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Трушко Р.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Давыдович К.И. – ассистент кафедры ИПиЭ

Аннотация. Рассмотрены основные функции веб-приложения «Агрегатор общественных мероприятий», предоставляющего пользователям единую платформу для поиска, фильтрации и записи на мероприятия, а организаторам – инструменты публикации и управления объявлениями. Описаны функции поиска и фильтрации мероприятий, добавления в избранное, записи на участие, комментирования, уведомлений об изменениях и интеграции с календарём. Рассмотрены принципы эргономического обеспечения интерфейса на основе свойств управляемости и освояемости. Построена диаграмма вариантов использования.

Ключевые слова: веб-приложение, агрегатор мероприятий, React, Supabase, эргономика, пользовательский интерфейс

Введение. В современном мире общественные мероприятия – концерты, выставки, фестивали, конференции, спортивные события – играют важную роль в культурной и социальной жизни людей. Однако при растущем количестве событий основная проблема заключается в разрозненности информации: сведения о мероприятиях публикуются в социальных сетях, на сайтах организаторов, в локальных сообществах и мессенджерах, не формируя единой структуры. Пользователь вынужден вручную просматривать множество источников, что снижает вовлечённость аудитории и затрудняет планирование досуга.

Существующие аналоги – онлайн-афиши, городские порталы и сервисы продажи билетов – решают задачу лишь частично: либо не охватывают локальные и нишевые события, либо ориентированы исключительно на коммерческую составляющую и не обеспечивают удобного взаимодействия между организаторами и посетителями.

В связи с этим актуальной является разработка единой открытой платформы – агрегатора общественных мероприятий, объединяющей функции афиши, поискового сервиса и инструмента для размещения событий. Такое решение способно устранить информационный разрыв между организаторами и аудиторией, повысить видимость мероприятий и обеспечить удобный доступ к актуальной информации для широкого круга пользователей.

Основная часть. Техническая реализация приложения выполнена с использованием библиотеки React. Данный выбор обусловлен необходимостью построения производительного и масштабируемого пользовательского интерфейса с компонентной архитектурой, обеспечивающей повторное использование элементов и удобство поддержки кода [1].

В качестве серверной инфраструктуры и хранилища данных используется платформа Supabase на основе реляционной СУБД PostgreSQL. Supabase обеспечивает надёжное структурированное хранение данных о мероприятиях, пользователях и организаторах, встроенную систему аутентификации, а также механизм подписок на изменения данных в реальном времени, что гарантирует актуальность отображаемой информации [2].

Разрабатываемое приложение охватывает два ключевых сегмента пользователей: посетителей и организаторов. Для посетителей система выступает единой точкой доступа ко всем событиям с возможностью поиска, фильтрации, подписки на категории и получения уведомлений. Для организаторов – предоставляет удобный инструмент самостоятельной публикации объявлений с указанием места, времени, стоимости и дополнительных деталей.

Взаимодействие пользователя с системой начинается с процедуры регистрации и авторизации. При регистрации пользователь выбирает роль – посетитель или организатор, – после чего система отправляет письмо для подтверждения электронной почты. Вход в систему осуществляется по паре email-пароль, при этом неавторизованным пользователям доступен гостевой режим просмотра каталога мероприятий. При попытке воспользоваться

функциональностью, требующей авторизации, система перенаправляет пользователя на страницу входа, сохраняя контекст его предыдущего действия. Управление данными учётной записи, настройка уведомлений и изменение параметров профиля вынесены в отдельные разделы личного кабинета.

Ключевой функцией для посетителей является поиск и фильтрация мероприятий. Пользователь может вводить ключевые слова в строку поиска, а также применять фильтры по категории, месту проведения, дате и типу события – система динамически обновляет список результатов. Помимо этого, реализована сортировка по дате проведения, популярности и дате добавления.

Для работы с мероприятиями пользователю доступны функции добавления событий в избранное и записи на участие. При сохранении мероприятия в избранное система уведомляет пользователя о любых изменениях со стороны организатора – изменении даты, места или отмене события – посредством уведомлений в личном кабинете или по электронной почте. Запись на участие фиксируется системой с отправкой электронного подтверждения.

На странице каждого мероприятия отображается полная информация: описание, дата, адрес с картой, данные организатора и условия участия. Авторизованные пользователи могут оставлять комментарии. Реализована функция экспорта мероприятия в календарь пользователя (Google Calendar, iCal).

Для организаторов реализован полный цикл управления объявлениями: создание, редактирование и удаление мероприятий через форму с полями названия, описания, даты, места, категории и условий участия. При изменении или удалении мероприятия система автоматически уведомляет записавшихся пользователей.

Главная страница приложения является отправной точкой для обоих типов пользователей и содержит полный каталог актуальных мероприятий в виде карточек с ключевой информацией: название, дата, место проведения и категория. Навигационная панель обеспечивает быстрый доступ к основным разделам приложения – каталогу, избранному, личному кабинету и настройкам. Для предотвращения информационной перегрузки список мероприятий реализован с постраничной навигацией. На всех страницах со списками доступны единые элементы фильтрации и сортировки, что обеспечивает предсказуемость и единообразие взаимодействия пользователя с системой вне зависимости от текущего раздела.

Эргономическое проектирование интерфейса основывалось на свойствах управляемости и освояемости. В рамках управляемости обеспечены: интуитивно понятная навигация с использованием общепринятых иконок, минимальное число шагов для выполнения ключевых действий, наличие окон подтверждения для критически важных операций, визуальная обратная связь о результате любого действия пользователя, а также единообразное поведение однотипных элементов во всём приложении. В рамках освояемости применена единая ненавязчивая цветовая схема, обеспечено чёткое визуальное разграничение блоков контента, использована F-образная модель расположения элементов, привычная для большинства пользователей [3].

При выделении функциональных требований была разработана диаграмма вариантов использования приложения, отображающая основные действия пользователя и организатора, включая регистрацию и авторизацию, поиск и фильтрацию мероприятий, добавление в избранное, запись на участие, публикацию и управление объявлениями, а также настройку профиля [4].

Диаграмма вариантов использования приложения представлена на рисунке 1.

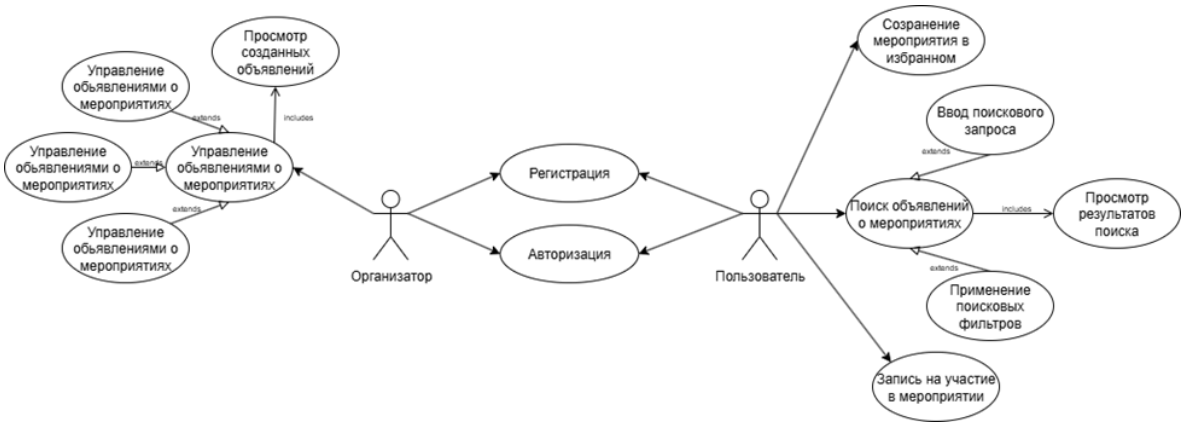


Рисунок 1 – Диаграмма вариантов использования

Диаграмма наглядно показывает функциональные возможности системы, предоставленные каждой роли пользователя, а также их взаимосвязи.

Заключение. Веб-приложение «Агрегатор общественных мероприятий» обеспечивает пользователям и организаторам единую платформу для эффективного взаимодействия в сфере планирования и проведения общественных событий. Благодаря использованию библиотеки React и платформы Supabase реализован производительный продукт с надёжным хранением данных и актуализацией информации в реальном времени. Реализация широкого спектра функций – от поиска и фильтрации мероприятий до интеграции с календарём и системы уведомлений – в сочетании с продуманным эргономическим обеспечением интерфейса формирует условия не только для привлечения широкой аудитории пользователей, но и, что не менее важно, для её удержания за счёт комфортного и эффективного взаимодействия с системой на постоянной основе.

Список литературы

1. *React documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://react.dev/learn. Дата доступа: 19.02.2026*

2. *Supabase documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://supabase.com/docs. Дата доступа: 19.02.2026*

3. *Эргономическое проектирование систем «человек–компьютер–среда». Курсовое проектирование: учеб.-метод. пособие / И. Г. Шупейко. – Минск: БГУИР, 2012. – 92 с.*

4. *UML Use Case Diagrams [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.uml-diagrams.org/use-case-diagrams.html. Дата доступа: 19.02.2026*

UDC 004.55:004.5

WEB APPLICATION «PUBLIC EVENTS AGGREGATOR» AND ITS ERGONOMIC SUPPORT

Trushko R.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Davydovich K.I. – Assistant of the Department of EPE

Annotation. The article examines the key features of the web application «Public Events Aggregator», which provides users with a unified platform for searching, filtering and registering for events, and gives organizers tools for publishing and managing announcements. The features described include event search and filtering, adding to favorites, participation registration, commenting, change notifications and calendar integration. The ergonomic principles of the interface design based on the properties of controllability and learnability are presented. A use case diagram is provided.

Keywords: web application, events aggregator, React, Supabase, ergonomics, user interface

УДК 621.3.049.77–048.24:537.2

ОСОБЕННОСТИ ЭРГОНОМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ АСТРОНОМИИ

Вербовская Е.М.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Пилиневич Л.П. – д.т.н., профессор, профессор кафедры ИПиЭ

Аннотация. Аналитически исследовано влияние эргономического обеспечения на пользовательские интерфейсы веб-приложений астрономической направленности. Установлено, что снижение когнитивной нагрузки, возникающей при визуализации сложных астрономических данных, достигается при использовании специализированных UI/UX-паттернов. Предложена методика эргономического проектирования астрономических веб-приложений с помощью адаптивных интерфейсных решений.

Ключевые слова: веб-приложение, эргономическое обеспечение, интерфейс, визуализация данных, астрономия

Введение. В последние годы наблюдается стремительный рост количества цифровых астрономических ресурсов, ориентированных как на профессиональных исследователей, так и на любителей астрономии. Обилие данных, характеризующихся большим количеством параметров (например, пространственные координаты объектов, их спектральные и фотометрические характеристики, временные ряды наблюдений) выдвигает на первый план задачу создания интуитивно понятных и эффективных пользовательских интерфейсов. Недостаточное внимание к эргономическим аспектам при разработке таких систем приводит к снижению продуктивности деятельности пользователей, быстрой утомляемости и повышению порога входа в работу с ресурсом. Это особенно актуально в условиях роста объемов открытых астрономических данных и расширения возможностей веб-технологий, обеспечивающих удаленный доступ к сложным инструментам анализа.

Анализ существующих популярных астрономических веб-приложений, таких как Stellarium Web [1], Aladin Lite [2] или Sky-Map.org [3], демонстрирует, что несмотря на развитый аналитический инструментарий, их интерфейсы зачастую страдают от перегруженности избыточным или плохо структурированным функционалом. Оценка проводилась по ряду ключевых критериев: визуальная перегруженность интерфейса, наличие эффективного ночного режима, возможности поиска и сопоставления данных между различными астрономическими каталогами, а также степень адаптации к различным устройствам. Данный подход позволил выявить типичные эргономические недостатки и сформулировать научно обоснованные рекомендации для их устранения. В рамках настоящей статьи рассматриваются ключевые особенности эргономического проектирования интерфейсов, критически важные для корректного и эффективного восприятия сложной визуальной астрономической информации.

Основная часть. Эргономическое проектирование интерфейса астрономических веб-приложений имеет существенные отличия от создания стандартных информационных систем. Специфика предметной области требует междисциплинарного подхода, объединяющего принципы проектирования пользовательских интерфейсов [4], когнитивной психологии [5] и физиологии зрения [6]. Методологически исследование опиралось на комплексный анализ интерфейсов существующих веб-приложений, а также на моделирование пользовательских действий с целью выявления когнитивной нагрузки, визуальных проблем и потенциальных ошибок при поиске объектов. Анализ пользовательских сценариев, включающих перемещение по карте небесной сферы и изучение параметров астрономических объектов, позволил выделить пять ключевых аспектов эргономического обеспечения.

Физиология зрения и эффект Пуркинье. Астрономические наблюдения, как правило, проводятся в условиях низкой освещенности, что делает сохранение адаптации зрения к низкой освещенности (процесса синтеза родопсина в сетчатке) критически важным [6].

Использование стандартных темных цветовых схем интерфейса, содержащих излучение в синем или белом спектре, нецелесообразно, так как даже слабое свечение может разрушить достигнутую адаптацию зрения к низкой освещенности. Оптимальным эргономическим решением является внедрение специализированного ночного режима. Такой режим предполагает отображение всего интерфейса в монохроматической красной цветовой гамме (длина волны излучения свыше 600 нм). Данный подход, основанный на феномене Пуркинье, позволяет пользователю безопасно чередовать работу с экраном монитора и визуальные наблюдения через оптические приборы, минимизируя пагубное воздействие на адаптацию зрения.

Когнитивное картирование и управление плотностью данных. Отображение даже ограниченного участка звездного неба может включать тысячи объектов, что создает риск визуальной перегрузки (информационного шума) [7]. Для предотвращения данного эффекта необходимо применение алгоритмов прогрессивного раскрытия информации, основанных на принципах гештальтпсихологии (законы близости и непрерывности) [5]. При минимальном масштабе отображения целесообразно показывать лишь ключевые элементы – контуры созвездий и координатную сетку. По мере увеличения масштаба интерфейс должен динамически добавлять объекты меньшей видимой звездной величины, плавно регулируя уровень детализации данных.

Эргономика поиска между различными астрономическими каталогами. Астрономическая номенклатура отличается высокой степенью гетерогенности: один и тот же объект может идентифицироваться по-разному в различных базах данных (например, Галактика Андромеды имеет обозначения M31, NGC 224 и PGC 2557). Применение стандартных поисковых алгоритмов в таких условиях зачастую приводит к увеличению числа пользовательских ошибок. Оптимальный интерфейс должен включать универсальную строку поиска с функцией предиктивного ввода. Такая строка способна в режиме реального времени анализировать введенные экваториальные координаты (в различных эпохах, например, J2000 или B1950) и распознавать идентификаторы из множества каталогов (HD, HIP, Messier), формируя для пользователя унифицированную информационную карточку объекта.

Дополнительно целесообразно внедрение механизмов интеллектуального автодополнения с учетом контекста пользовательского запроса. Это позволяет не только ускорить процесс поиска, но и снизить вероятность ошибок, связанных с неоднозначностью астрономических обозначений и различиями в форматах представления данных.

Избыточное кодирование спектральных характеристик. В астрофизике цвет звезды имеет строгую корреляцию с ее эффективной температурой (спектральные классы O, B, A, F, G, K, M) [8]. Однако использование исключительно цветового кодирования (цветовая модель RGB) снижает уровень доступности интерфейса для пользователей с нарушениями различения цветов, становится неинформативным при активации монохроматического ночного режима. Эргономичный подход требует применения избыточного кодирования: спектральный класс должен дублироваться с помощью графических маркеров различной формы, специальных символов или текстовых идентификаторов, отображаемых на всплывающих информационных панелях.

Пространственно-временная навигация. В отличие от статичных картографических систем, звездное небо представляет собой динамичную структуру. Взаимодействие с веб-приложением требует не только пространственного перемещения по небесной сфере (с компенсацией проекционных искажений), но и навигации во времени для отслеживания транзитов планет, затмений или изменения лунных фаз. Внедрение эргономичного элемента управления нелинейной временной шкалой, позволяющего интуитивно изменять ход времени (часы, солнечные сутки, сидерические годы), существенно сокращает затраты времени на выполнение рутинных навигационных задач.

Дополнительным преимуществом является использование анимационных механизмов визуализации, позволяющих наглядно отслеживать изменение положения небесных объектов во времени. Это способствует более интуитивному восприятию динамических астрономических процессов.

Заключение. Выполнен комплексный анализ специфических требований к эргономическому обеспечению веб-приложений астрономической направленности.

Рекомендации, основанные на сравнительном анализе существующих решений и моделировании пользовательских сценариев, обеспечивают высокую практическую применимость предложенных методов в условиях реальных астрономических наблюдений. Установлено, что стандартные подходы к проектированию интерфейсов не в полной мере соответствуют задачам комфортной визуализации и интерактивной работы с многомерными астрономическими данными. Предложено использование специализированных методов: монохроматического красного режима для сохранения адаптации зрения к низкой освещенности, алгоритмов прогрессивного раскрытия информации для снижения когнитивной нагрузки и предиктивного поиска по каталогам. Разработанные рекомендации способствуют созданию эффективного программного продукта, снижающего входной барьер для изучения астрономии и повышающего качество пользовательского опыта как в стационарных условиях, так и при полевых наблюдениях.

Перспективы дальнейших исследований связаны с разработкой адаптивных интеллектуальных интерфейсов, способных автоматически учитывать уровень подготовки пользователя и условия проведения наблюдений. Особый интерес представляет интеграция методов машинного обучения для персонализации отображаемых данных и оптимизации пользовательских сценариев взаимодействия. Реализация таких подходов позволит существенно повысить эффективность использования астрономических веб-приложений как в образовательной, так и в научно-исследовательской деятельности.

Список литературы

1. *Stellarium Web [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://stellarium-web.org/ (дата обращения: 04.03.2026).*
2. *Aladin Lite [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://aladin.cds.unistra.fr/AladinLite/ (дата обращения: 04.03.2026).*
3. *Sky Map.org (WikiSky) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://sky-map.org/ (дата обращения: 05.03.2026).*
4. *Nielsen, J. 10 Usability Heuristics for User Interface Design / J. Nielsen. – 1995. – 12 p.*
5. *Koffka, K. Principles of Gestalt Psychology / K. Koffka. – Harcourt, Brace & World, 1935. – 576 p.*
6. *Lucas, R.J., Douglas, R.H., Foster, R.G. Characterization of an ocular photopigment capable of driving pupillary constriction in mice / R.J. Lucas, R.H. Douglas, R.G. Foster // Nature Neuroscience. – 2001. – Vol. 4, N 6. – Pp. 621–626.*
7. *Ware, C. Information Visualization: Perception for Design / C. Ware. – 3rd ed. – Morgan Kaufmann, 2012. – 425 p.*
8. *Bonnarel, F., Fernique, P., Bienaymé, O., Egret, D., Genova, F., Louys, M., Ochsenbein, F., Wenger, M., Bartlett, J. G. The ALADIN interactive sky atlas: A reference tool for identification of astronomical sources / F. Bonnarel, P. Fernique, O. Bienaymé, D. Egret, F. Genova, M. Louys, F. Ochsenbein, M. Wenger, J. G. Bartlett // Astronomy and Astrophysics Supplement Series. – 2000. – Vol. 143, No 1. – Pp. 33–40.*

UDC 621.3.049.77–048.24:537.2

FEATURES OF ERGONOMIC SUPPORT FOR ASTRONOMY EDUCATION WEB APPLICATIONS

Viarbouskaya Y.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Pilinevich L.P. – Dr. of Sci. (Tech.), Professor, Professor at the Department of EPE

Annotation. The impact of ergonomic support on the user interfaces of astronomy-oriented web applications is analytically investigated. It was established that the reduction of cognitive load, arising during the visualization of complex astronomical data, is achieved through the use of specialized UI/UX patterns. A methodology for the ergonomic design of astronomical web applications using adaptive interface solutions is proposed.

Keywords: web application, ergonomic support, interface, data visualization, astronomy

УДК 004.946:004.42

РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОЙ ПРИМЕРОЧНОЙ ДЛЯ МАГАЗИНА С АТРИБУТИКОЙ МИНСКОГО АВТОМОБИЛЬНОГО ЗАВОДА

Заяц А.А.

Национальный детский технопарк, г. Минск, Республика Беларусь

Научные руководители: Прудник А.М. – к. т. н, доцент кафедры ИПиЭ;
Ильясова М.С. – магистр техн. наук, ассистент кафедры ИПиЭ

Аннотация. Разработано приложение дополненной реальности для виртуальной примерки атрибутики Минского автомобильного завода. Программа позволяет пользователям в реальном времени интерактивно оценивать внешний вид изделий. Применение передовых технологий моделирования и анализа гарантирует точную подгонку вещей и высокую реалистичность отображаемых текстур.

Ключевые слова: примерочная, дополненная реальность, одежда, Android, приложение, интерактивность, моделирование, реалистичность, техническая детализация, пользовательский опыт.

Введение. В настоящее время, когда информационные технологии занимают важное место во всех сферах деятельности человека, наблюдается растущий интерес и распространение дополненной реальности (AR). Ежедневно появляется всё больше видеоигр, программ и приложений, разработанных с использованием технологии AR. Эта технология предоставляет возможность пользователям визуализировать трёхмерные объекты в зрительном поле с целью дополнения сведений об окружении и изменения восприятия окружающей среды [1].

Проект, связанный с использованием AR в торговой индустрии, обладает высокой актуальностью и значимостью. AR предлагает уникальную возможность создания интерактивной среды, которая может значительно улучшить и облегчить процесс выбора одежды по размеру и внешнему виду.

Обзор практики сочетания дополненной реальности и виртуальной примерки одежды. В наши дни технология дополненной реальности всё чаще используется для виртуальной примерки одежды крупными организациями по всему миру. Примером является дом моды Louis Vuitton. Они разработали технологию виртуальной примерки под названием IDM VTON [2].

Однако недостатком данной технологии является то, что она не может работать в реальном времени. Пользователи выбирают фотографию и ждут 20–30 секунд пока идёт обработка.

Выбор инструментов. Для разработки приложения рассматривались движок Unity [3] и среда Android Studio [4]. Выбор был сделан в пользу Android Studio и кроссплатформенного языка Kotlin [5], которые оптимально подходят для создания нативных мобильных приложений. Для подготовки 3D-моделей анализировались редакторы 3Ds Max [6] и Blender [7]. Окончательное решение было принято в пользу Blender [7] благодаря его открытому исходному коду, удобному интерфейсу и широкому инструментарию для анимации.

Реализация приложения. Представленное AR приложение, созданное с целью облегчения выбора одежды, является многофункциональным и включает в себя такие функции, как примерка одежды в реальном времени, а также примерка одежды на фото. Приложение предоставляет возможность сохранения результата в галерею.

Приложение имеет интуитивно понятный пользовательский интерфейс (рисунок 1). Снизу находится панель инструментов. На ней находятся кнопки выбора фотографии из галереи, сохранения текущего положения в виде фотографии в галерею, переключение между фронтальной и задней камерами.

Над панелью расположена карусель с выбором футболок с атрибутикой Минского Автомобильного Завода. Также в карусели есть кнопка отключения футболок. На фоне

отображается изображение с камеры устройства пользователя или выбранная из галереи фотография.



Рисунок 1 – Пользовательский интерфейс приложения

Также в приложении присутствуют футболки с атрибутикой МАЗ. Для того, чтобы футболки не были статичными, в них был размещён скелет (рисунок 2).

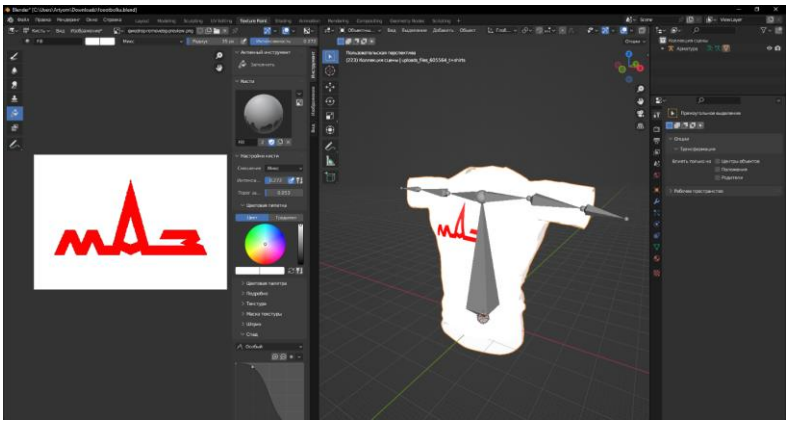


Рисунок 2 – Разработка футболок с атрибутикой МАЗ

Разработка кода. В приложении реализованы два основных режима: обработка потокового видео с камеры в реальном времени и работа со статичными фотографиями из галереи.

Архитектура модуля камеры построена на базе библиотеки CameraX [8] и декларативного UI-фреймворка Jetpack Compose [9]. За логику отвечает класс CameraXViewModel, который настраивает анализатор кадров и связывает работу камеры с жизненным циклом приложения. Вывод изображения на экран и переключение между фронтальной и основной камерами реализованы через Composable-функцию CameraView.

Ключевым этапом работы приложения является распознавание позы пользователя. Каждый полученный кадр конвертируется и передается в класс AndroidPoseDetector, реализованный на базе нейросетевой библиотеки Google ML-Kit (модуль Pose Detection) [10]. Данный модуль в режиме реального времени обрабатывает входное изображение и возвращает массив пространственных координат ключевых точек тела человека.

Для синхронизации виртуальной одежды с реальными движениями пользователя задействован класс ModelView и движок рендеринга SceneView [11]. Алгоритм берет 2D-координаты суставов, полученные от нейросети, и с помощью математических преобразований вычисляет промежуточные центры (функция average) и углы поворота костей через тригонометрические функции (функция calculateAngle). Затем функция convertToBones проецирует эти данные на скелет 3D-модели футболки. Это обеспечивает точную, динамичную и реалистичную деформацию виртуальной ткани синхронно с изменениями позы человека в кадре.

Заключение. В заключении можно отметить, что интеграция технологии дополненной реальности и разработка программного обеспечения для создания виртуальной примерочной представляет собой перспективное направление развития в области торговли, маркетинга и технологий дополненной реальности. Результаты исследования подчёркивают важность учёта технических деталей и моделирования для достижения высокого уровня реализма и иммерсии в среде дополненной реальности. Дальнейшее развитие и исследование в этой области могут привести к созданию ещё более реалистичных и удобных примерочных, которые будут широко применяться во всех магазинах и музеях.

Список литературы

1. *Kipper G. Augmented Reality / G. Kipper, J. Rampolla. – Waltham: Syngress, 2013. – 176 p.*
2. *Прорывная технология IDM VTON [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://idmvton.com/ru. Дата доступа: 01.03.2026.*
3. *Unity User Manual 2022.3 (LTS) [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://docs.unity3d.com/Manual/UnityManual.html. Дата доступа: 01.03.2026.*
4. *Официальная документация Android Studio [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://developer.android.com/studio/intro. Дата доступа: 01.03.2026.*
5. *Kotlin official web-page [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://kotlinlang.org/. Дата доступа: 01.03.2026.*
6. *3ds Max Learning Center [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://help.autodesk.com/view/3DSMAX/2022/ENU/. Дата доступа: 01.03.2026.*
7. *Blender Documentation [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://docs.blender.org/. Дата доступа: 01.03.2026.*
8. *Официальная документация CameraX [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://developer.android.com/media/camera/camerax/overview. Дата доступа: 01.03.2026.*
9. *Jetpack Compose [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://developer.android.com/compose. Дата доступа: 01.03.2026.*
10. *ML-Kit Pose Detection [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://developers.google.com/ml-kit/vision/pose-detection. Дата доступа: 01.03.2026.*
11. *SceneView Android [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://github.com/SceneView/sceneview-android. Дата доступа: 01.03.2026.*

UDC 004.946:004.42

DEVELOPMENT OF A VIRTUAL FITTING ROOM FOR A STORE WITH MINSK AUTOMOBILE PLANT MERCHANDISE

Zayats A.A.

National Children's Technopark, Minsk, Republic of Belarus

Scientific supervisors: Prudnik A.M. – Cand. of Sci. (Tech.), Associate Professor at the Department of Engineering Psychology and Ergonomics; Ilyasova M.S. – M.Sc. (Tech.), Assistant at the Department of Engineering Psychology and Ergonomics

Annotation. An augmented reality application has been developed for virtual fitting of Minsk Automobile Plant merchandise. The program allows users to interactively evaluate the appearance of items in real time. The use of advanced modeling and analysis technologies ensures precise fitting of clothes and high realism of the displayed textures.

Keywords: fitting room, augmented reality, clothing, Android, application, interactivity, modeling, realism, technical detail, user experience.

УДК 504.5:159.9.072.43

СОЦИОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ: ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИВЫЧКИ И ОСВЕДОМЛЁННОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ

Яковчук Г.В., Щиглинский И.К.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель Камлач В.И. – магистр техн. наук., ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. Данное исследование посвящено экологическим привычкам и осведомлённости населения г. Минска. Представлены результаты социологического опроса о проблемах экологии. В работе рассматривается отношение респондентов к раздельному сбору мусора и экономии ресурсов. Представленные результаты социологического опроса показывают, что, большая часть респондентов относятся к идее защиты окружающей среды положительно, однако на практике экологические привычки реализуются редко.

Ключевые слова: экологические привычки, раздельный сбор отходов, ресурсосбережение, анкетный опрос, экологическое поведение населения, сортировка мусора

Введение. Экологическая повестка сегодня становится одной из ключевых тем общества. Изменение климата, увеличение количества отходов и рост потребления ресурсов требуют изменения повседневных привычек людей. На практике часто наблюдается ситуация, когда высокий уровень информированности населения не приводит к реальному изменению поведения. В научной литературе данное явление рассматривается как разрыв между ценностями и действиями (Value–Action Gap), когда человек поддерживает экологические идеи, но не реализует их в повседневной жизни [1]. Целью исследования является анализ уровня экологической осознанности населения и выявление факторов, влияющих на формирование экологических привычек.

Основная часть. Исследование проводилось методом анкетного опроса с использованием платформы Google Forms. В опросе приняли участие 87 жителей города Минска. Большинство респондентов составила молодежь в возрасте 17–23 лет.

Анкета включала три основных блока вопросов: – когнитивный (уровень знаний об экологии);

– поведенческий (реальные действия);

– мотивационный (причины экологического поведения).

Результаты исследования показали, что большинство участников опроса считают важным сортировать отходы, но регулярно это делают только небольшая часть респондентов.

Таблица 1 – Уровень участия респондентов в раздельном сборе отходов

Вариант ответа	Доля респондентов
Сортирую всегда	13 %
Сортирую иногда	43 %
Не сортирую	44 %

Как видно из таблицы, значительная часть населения пока не вовлечена в регулярную сортировку отходов.

Также анализ результатов показал, что более распространённой практикой является экономия воды и электроэнергии. По результатам опроса 82 % респондентов указали, что стараются контролировать расход ресурсов.

На рисунке 1 представлено соотношение уровня осознания экологических проблем и реальных действий респондентов.

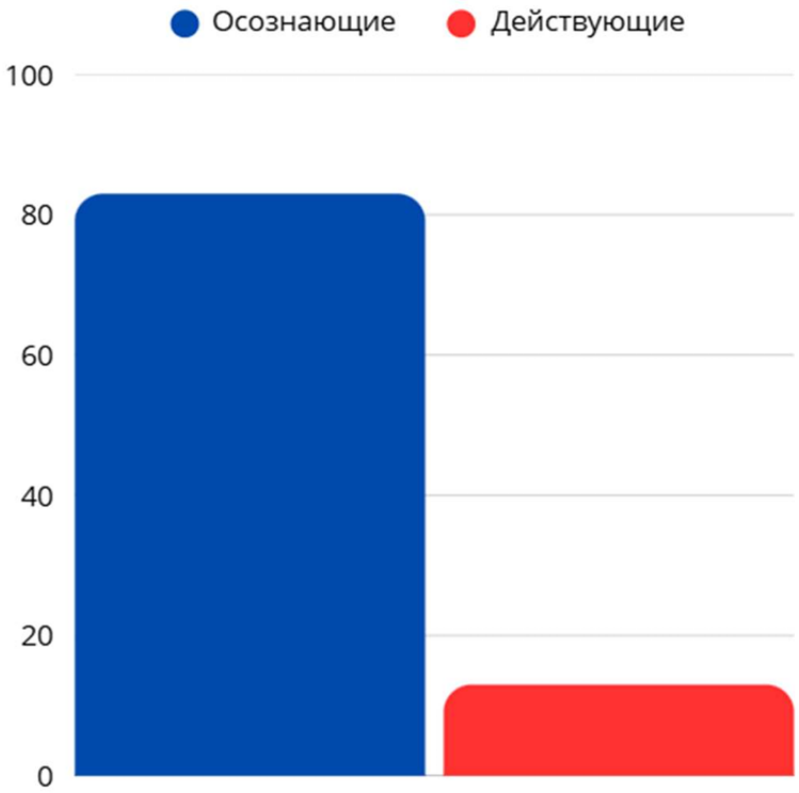


Рисунок 1 – Соотношение экологической осведомлённости и реального поведения

Полученные данные показывают наличие значительного разрыва между пониманием экологических проблем и практическими действиями населения. Одним из объяснений данного явления является экономическая мотивация экологического поведения. В ряде исследований отмечается, что снижение потребления ресурсов часто связано не только с экологическими убеждениями, но и с желанием сократить расходы [2].

Также были выявлены основные барьеры экологического поведения:

– скептицизм по отношению к системе переработки отходов;

– неудобство сортировки мусора в квартире;

– недостаточная информированность о правилах сортировки.

Заключение. Проведённое исследование показало, что жители города Минска в целом осознают важность экологических проблем и поддерживают идеи защиты окружающей среды. Однако на практике экологические привычки реализуются не в полной мере.

Основными факторами, ограничивающими экологическое поведение, являются недоверие к системе переработки отходов, бытовые неудобства и экономические особенности мотивации населения.

Для повышения уровня экологической активности необходимо развитие просветительских программ, направленных на формирование практических навыков экологичного поведения и повышение доверия к системе обращения с отходами.

Список литературы

1. *The Impact of ESD on Microcontrollers / Gennady A. Piskun, Viktor F. Alexeev, Sergey M. Avakov, Vladimir E. Matyushkov, Dmitry S. Titko ; Edited by PhD, Aassociate professor Viktor F. Alexeev. – Minsk : Kolorgrad, 2018. – 184 p. – ISBN 978-9857-148-40-0.*

2. *Alexseev, V. Approaches to the optimization of the electronic module using the research of transformation of energy of mechanical exposure / Viktor F. Alexseev, Gennady A. Piskun, Dmitriy V. Likhachevsky // Slovak international scientific journal. – 2018. – Vol. 1, N 14. – Pp. 9–27.*

3. *Алексеев, В.Ф. Impact of discharges of static electricity on semiconductor structures and integral schemes / В.Ф. Алексеев, Г.А. Пискун, А.А. Лисовский // Danish Scientific Journal. – 2018. – Vol.1, N 19. – Pp. 31–41.*

4. *Models for predicting the reliability of integral schemes taking into account the impact of electrostatic discharge / В.Ф. Алексеев [и др.] // Slovak international scientific journal. – 2018. – Vol. 1, N 24. – Pp. 47–62.*

5. *Оптимизация теплового режима приемо-передающего устройства по результатам моделирования тепловых процессов в среде SolidWorks*

UDC 504.5:159.9.072.43

SOCIOLOGICAL RESEARCH: ENVIRONMENTAL HABITS AND AWARENESS OF THE POPULATION

Yakauchuk G.U. Shchyhlinskiy I.K.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Kamlach V.I. – master. of Sci., Senior Lecturer at the Department of EPE

Annotation. This study is devoted to the environmental habits and awareness of the population of Minsk. The results of a sociological survey on environmental issues are presented. The paper examines the respondents' attitude to separate garbage collection and resource saving. The presented results of the sociological survey show that the majority of respondents have a positive attitude towards the idea of environmental protection, but in practice environmental habits are rarely implemented.

Keywords: environmental habits, separate waste collection, resource conservation, questionnaire survey, environmental behavior of the population, garbage sorting.

СЕКЦИЯ
«ИНЖЕНЕРНАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА»

УДК 536.24:621.38

КЛАССИФИКАЦИЯ И ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ В ВОЗДУШНОМ ОХЛАЖДЕНИИ ВЫСОКОМОЩНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ

Живицкий И.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Дик С.К. – к. ф. -м. н., доцент, заведующий кафедрой ИКГ

Аннотация. В работе представлен анализ современных методов воздушного охлаждения электронных компонентов. Рассмотрены классификация систем, сравнение типов вентиляторов, а также перспективные технологии (микроканалы, наножидкости, фазопереходные материалы). Показана область применения методов – от силовых модулей до лазерных диодов. Предложены критерии выбора оптимальной системы охлаждения в зависимости от условий эксплуатации.

Ключевые слова: тепловыделение, воздушное охлаждение, вентилятор, высокомощные компоненты, лазерные диоды, электрокалорический эффект, наножидкости, терморегулирование

Введение. Стремительное развитие силовой электроники, миниатюризация устройств и повышение их производительности приводят к неуклонному росту плотности теплового потока. Перегрев является одной из основных причин отказов полупроводниковых приборов, таких как IGBT-транзисторы и SiC-МОП-структуры, что делает эффективный теплоотвод критически важной задачей [1]. Традиционные системы охлаждения подходят к пределу своих возможностей, что стимулирует поиск как оптимизированных классических решений, так и принципиально новых подходов.

В данной работе классифицируются методы воздушного охлаждения и рассматриваются инновационные решения, способные обеспечить надежную работу высокомощных электронных компонентов, включая лазерные диоды, где тепловые нагрузки также крайне высоки.

Основная часть. Охлаждение электронных компонентов может быть пассивным и активным. Пассивное охлаждение осуществляется за счет естественной конвекции и излучения с помощью радиаторов и тепловых трубок. Активное охлаждение подразумевает использование вентиляторов, помп или иных устройств для принудительного отвода тепла [8]. В контексте воздушного охлаждения ключевую роль играют вентиляторы. Их можно классифицировать по нескольким признакам.

По направлению движения воздуха выделяют осевые, радиальные (центробежные) и диагональные вентиляторы [2]:

1 Осевые вентиляторы создают поток воздуха вдоль оси вращения. Они характеризуются высокой производительностью (объемный расход, CFM) при низком статическом давлении и широко применяются для продувки корпусов компьютеров и блоков питания.

2 Радиальные вентиляторы засасывают воздух вдоль оси и выбрасывают его перпендикулярно, создавая высокое статическое давление. Это позволяет им эффективно продувать воздух через плотные радиаторы и узкие каналы в серверном и промышленном оборудовании [3].

3 Диагональные вентиляторы занимают промежуточное положение, обеспечивая баланс между расходом и давлением.

Критически важными параметрами при выборе вентилятора являются: производительность (CFM или м³/ч), статическое давление (мм вод. ст. или Па), скорость вращения (RPM), уровень шума (дБА), тип подшипника (скольжения, качения, гидродинамический), напряжение питания и ресурс работы (MTTF) [4, 5].

Современные тенденции в области вентиляторостроения направлены на повышение энергоэффективности и управляемости. Так, широкое распространение получают

вентиляторы с электронной коммутацией (EC-вентиляторы). Благодаря встроенной электронике и использованию бесщеточного двигателя постоянного тока, EC-вентиляторы могут быть на 40–60% эффективнее традиционных вентиляторов переменного тока, обеспечивая при этом плавную регулировку скорости в зависимости от температуры [3].

Расчет необходимого воздушного потока – ключевой этап проектирования системы охлаждения. Для электрического шкафа или корпуса с известной тепловой нагрузкой Q (Вт) и допустимым повышением температуры ΔT (С) требуемый расход воздуха приближенно рассчитывается по формуле [4]:

$$CFM = \frac{3.16 \times Q}{\Delta T}$$

Однако эта формула не учитывает статическое сопротивление тракта. В системах с плотной компоновкой необходимо выбирать вентилятор по его рабочей характеристике (кривой зависимости давления от расхода), которая должна пересекаться с кривой сопротивления системы в рабочей точке [4].

Несмотря на постоянное совершенствование традиционных вентиляторов, для компонентов с экстремально высокой мощностью (более 500–1000 Вт/см²) требуются инновационные подходы. Одним из таких направлений является твердотельное охлаждение на основе электрокалорического эффекта (ЭКЭ) [5].

В отличие от эффекта Пельтье, ЭКЭ основан на обратимом изменении температуры материала под действием внешнего электрического поля. При приложении поля диполи в материале упорядочиваются, что приводит к его нагреву. При снятии поля диполи хаотизируются, поглощая энергию и охлаждая окружающую среду. Современные исследования демонстрируют гигантский ЭКЭ в тонких пленках (например, цирконата-титаната свинца или полимеров), позволяющий достигать перепада температур до 12–13 К и выше при комнатной температуре [5, 6]. Интеграция таких пленок непосредственно в кристалл микросхемы открывает путь к бесшумному, компактному и экологичному охлаждению, однако требует решения проблем, связанных с электрокалорической усталостью материалов и высокими рабочими напряжениями.

Другой класс инновационных решений связан с интенсификацией теплообмена в традиционных системах. К ним относятся:

1 Микроканальное охлаждение (microchannel cooling), при котором теплоноситель (жидкость или воздух) прокачивается через каналы гидравлическим диаметром менее 1 мм, что обеспечивает чрезвычайно высокие коэффициенты теплоотдачи [1, 7].

2 Иммерсионное охлаждение (immersion cooling), при котором электронные компоненты погружаются непосредственно в диэлектрическую жидкость. Это полностью исключает тепловое сопротивление интерфейса и позволяет достигать тепловых потоков более 1000 Вт/см² [7].

3 Применение наножидкостей (nanofluids) – жидкостей (вода, масло) с добавлением наночастиц материалов с высокой теплопроводностью (Al_2O_3, CuO, графен). Это может повысить теплопроводность и, как следствие, эффективность теплоотвода на 10–40% по сравнению с базовой жидкостью [1, 8].

4 Использование фазопереходных материалов (ФПМ) для сглаживания тепловых пиков. ФПМ, например парафины или соли, поглощают большое количество тепла при плавлении, поддерживая стабильную температуру компонента в течение определенного времени [1, 8].

Важно отметить, что проблемы эффективного теплоотвода, подробно рассмотренные выше применительно к силовым полупроводниковым модулям, являются не менее критичными для оптоэлектронных компонентов, и в первую очередь – для мощных лазерных диодов. Специфика работы лазерных диодов заключается в том, что даже при высокой квантовой эффективности значительная доля электрической энергии не преобразуется в когерентное излучение, а переходит в тепло. Возникающий перегрев оказывает прямое и крайне негативное влияние на рабочие характеристики лазерного диода. Во-первых, температура активной области определяет ширину запрещенной зоны полупроводника, что напрямую влияет на длину волны генерируемого излучения. Нестабильность температуры

приводит к дрейфу длины волны. Во-вторых, повышение температуры резко увеличивает скорость деградационных процессов в кристалле: диффузию дефектов, интерметаллические реакции в контактах и деградацию зеркал резонатора. Это существенно сокращает срок службы прибора, который может исчисляться всего сотнями или тысячами часов при нарушении теплового режима вместо десятков тысяч часов при оптимальном охлаждении. В-третьих, перегрев снижает дифференциальную квантовую эффективность и выходную оптическую мощность, вызывая эффект «thermal rollover» – падение мощности при увеличении тока накачки.

В связи с этим, рассмотренные ранее инновационные методы теплообмена находят все более широкое и эффективное применение именно в области термостабилизации мощных лазерных диодов. Например, микроканальное охлаждение, при котором теплоноситель (жидкость или газ) прокачивается через каналы диаметром менее миллиметра, непосредственно интегрированные в медный теплоотвод или подложку лазерного чипа, позволяет отводить рекордные тепловые потоки при минимальном тепловом сопротивлении. Иммерсионное охлаждение, предполагающее прямое погружение лазерного кристалла в диэлектрическую жидкость, не только обеспечивает идеальный тепловой контакт, но и может упростить конструкцию оптической системы, исключая необходимость в массивных теплоотводах. Применение наножидкостей (например, воды с добавлением наночастиц алмаза, графена или оксида алюминия) в сочетании с микроканальными структурами позволяет дополнительно повысить критический тепловой поток и коэффициент теплоотдачи на 10–40% по сравнению с традиционными хладагентами за счет улучшения теплопроводности.

Таким образом, разработка эффективных систем охлаждения является ключевым фактором, сдерживающим или, наоборот, открывающим новые горизонты в повышении мощности и надежности как полупроводниковой силовой электроники, так и современной оптоэлектроники.

Выбор конкретного решения определяется совокупностью факторов. В таблице 1 представлено сравнение различных методов.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика методов охлаждения

Метод охлаждения	**Типичная рассеиваемая плотность теплового потока**	**Преимущества**	**Недостатки**
Естественное воздушное	< 0,5 Вт/см² [8]	низкая стоимость, надежность	низкая эффективность, громоздкость
Принудительное воздушное	до 50 Вт/см² [7]	простота, низкая стоимость	шум, недостаточно для сверхвысоких нагрузок
Жидкостное (непрямое)	до 500 Вт/см² [7, 8]	высокая эффективность	сложность, риск протечек
Иммерсионное / Микроканальное	> 1000 Вт/см² [1, 7]	экстремально высокая эффективность	высокая стоимость, сложность эксплуатации

Заключение. Выполнен анализ современного состояния и перспектив развития систем воздушного охлаждения высокомощных электронных компонентов. Установлено, что традиционные методы, основанные на применении осевых и радиальных вентиляторов, остаются доминирующими для широкого круга задач благодаря своей экономичности, однако их эффективность ограничена диапазоном тепловых нагрузок. Рост удельной мощности современных полупроводниковых и оптоэлектронных приборов требует либо глубокой оптимизации вентиляторных систем (внедрение энергоэффективных EC-вентиляторов с электронной коммутацией, точный аэродинамический расчет воздушных трактов), либо перехода к гибридным и инновационным решениям. Показано, что наиболее перспективными направлениями являются интеграция твердотельных охлаждающих элементов на основе электрокалорического эффекта непосредственно в структуру кристалла, а также использование микроканальных структур и наножидкостей для кардинальной интенсификации теплообмена. Данные методы одинаково важны как для силовых полупроводниковых модулей (IGBT-транзисторов и SiC-МОП-структур), где плотность теплового потока неуклонно растет, так и для мощных лазерных диодов, в которых перегрев

напрямую влияет на стабильность длины волны и скорость деградации кристалла. Особую актуальность инновационные подходы приобретают в задачах термостатирования прецизионных оптоэлектронных компонентов, где требования к температурной стабильности максимально высоки. Выбор оптимального решения должен базироваться на тщательном анализе плотности теплового потока, массогабаритных ограничений, условий эксплуатации и экономической целесообразности с учетом всего комплекса требований к современной высокомощной электронике, что в конечном итоге определяет надежность и долговечность работы устройств.

Список литературы

1. Enhancing Thermal Efficiency in Power Electronics: A Review of Advanced Materials and Cooling Methods / T. Orville [et al.] // UBC Faculty Research and Publications. – 2025. – 15 p.

2. Виды вентиляторов: классификация, устройство, принцип работы популярных конструкций [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://zelmershop.ru/vidy-ventilatorov-klassifikacia-ustrojstvo-princip-raboty-popularnyh-konstrukcij/. – Дата доступа: 06.03.2026.

3. Как выбрать вентилятор с охлаждением для вашего оборудования в 2026 году [Электронный ресурс] / Linkwell Electrics. – Режим доступа: https://linkwellelectrics.com/ru/cooled-fan/. – Дата доступа: 06.03.2026.

4. Рекомендации по выбору вентиляторов для охлаждения электронного оборудования / А. Соболев // Компоненты и технологии. – 2007. – № 8. – С. 178–182.

5. Холод без шума: электричество вместо фреона [Электронный ресурс] // iXBT Live. – Режим доступа: https://www.ixbt.com/live/science/holod-bez-shuma-elektrichestvo-vmesto-freona.html. – Дата доступа: 06.03.2026.

6. Progress in electrocaloric cooling: materials, devices, and cycle optimization / J. Shi [et al.] // ScienceDirect. – 2025. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S129007292500523X (date of access: 06.03.2026).

7. Cooling Solutions for High-Voltage Power Modules [Electronic resource] / Xeon Fan. – Mode of access: https://xeonfan.com/news/cooling-solutions-for-highvoltage-power-modules.html. – Date of access: 06.03.2026.

8. Проблема выбора способа охлаждения для силовых полупроводниковых приборов / А.В. Лысенко, В.В. Парфенов // Инженерный вестник Дона. – 2013. – № 2. – URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1624. – Дата доступа: 06.03.2026.

UDC 536.24:621.38

CLASSIFICATION AND INNOVATIVE SOLUTIONS IN AIR COOLING OF HIGH-POWER ELECTRONIC COMPONENTS

Zhivitskiy I.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Dzik S.K. – Cand. of Sci., Associate Professor, Head of the Department of ECG

Annotation. The paper presents an analysis of modern air-cooling methods for electronic components. It examines the classification of systems, a comparison of fan types, and promising technologies (microchannels, nanofluids, phase-change materials). The field of application–from power modules to laser diodes–is shown. Criteria for selecting the optimal cooling system depending on operating conditions are proposed.

Keywords: heat generation, air cooling, fan, high-power components, laser diodes, electrocaloric effect, nanofluids, thermal management

УДК 004.047

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ И ЯЗЫКОВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ ПРИ СОЗДАНИИ ГРАФИЧЕСКИХ ВЕБ-ИНТЕРФЕЙСОВ

Нгуен Т.З.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Дик С.К. – к. ф.-м. н., доцент, зав. кафедрой ИКГ

Аннотация. В статье рассматриваются особенности использования технологий HTML/CSS/JavaScript, а также языков программирования TypeScript и Dart для создания графического пользовательского интерфейса веб-приложений. Проведен сравнительный анализ функциональных возможностей, архитектурных подходов, удобства разработки, производительности и масштабируемости решений. Определены преимущества и ограничения каждого из рассматриваемых инструментов в контексте проектирования современных веб-интерфейсов.

Ключевые слова: веб-интерфейс, HTML, CSS, JavaScript, TypeScript, Dart, веб-разработка, фронтенд

Введение. В условиях стремительного развития информационных технологий и цифровых платформ веб-сайты и веб-приложения стали неотъемлемой частью жизни современного общества. Современные информационные системы требуют удобного, адаптивного и функционального графического интерфейса, обеспечивающего эффективное взаимодействие человека с программным обеспечением. Для создания высококачественного веб-интерфейса требуется использование различных языков программирования и технологий, каждая из которых имеет свои особенности и область применения. Наиболее распространёнными языками программирования для разработки графических интерфейсов и веб-приложений в настоящее время являются HTML/CSS/JavaScript, TypeScript и Dart благодаря их качеству, удобству использования и значительным преимуществам, которые они предоставляют программистам, компаниям и пользователям. Однако каждый язык программирования имеет свои собственные преимущества и недостатки. Каждый язык программирования подходит для веб-сайтов с различными требованиями и задачами. Поэтому анализ и сравнение этих инструментов с целью определения их возможностей и целесообразности использования при создании графического веб-интерфейса является весьма важным.

Основная часть. В программировании и проектировании веб-интерфейсов HTML, CSS и JavaScript являются наиболее распространённым набором технологий. HTML представляет собой язык разметки, предназначенный для построения структуры и формирования содержимого веб-страницы. Он включает различные логические элементы, такие как заголовки, абзацы, таблицы, формы ввода данных, изображения и другие элементы. Благодаря этому разработчики могут создавать полноценную структурированную основу веб-интерфейса. CSS используется для описания внешнего вида и оформления веб-страниц. Он определяет стиль элементов, управляет цветовой гаммой, шрифтами, блочной компоновкой, а также позволяет адаптировать интерфейс веб-страницы к различным устройствам пользователя (например, интерфейс веб-страницы на ноутбуке будет отличаться от интерфейса при открытии на мобильном телефоне). Для обеспечения интерактивности и создания анимаций, а также различных динамических действий используется JavaScript. Этот язык позволяет системе оперативно реагировать на действия пользователя и выполнять логические алгоритмы различной сложности за короткое время. Структура веб-страницы, разработанной с использованием технологий HTML, CSS и JavaScript, проиллюстрирована на рисунке 1.

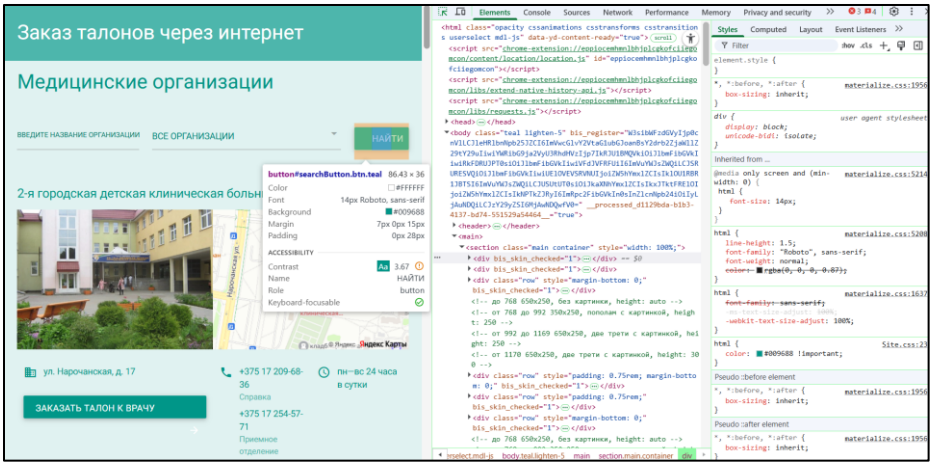


Рисунок 1 – Структура веб-страницы на основе HTML CSS и JavaScript

Сочетание HTML, CSS и JavaScript формирует пользовательский интерфейс веб-приложения. Основным преимуществом данных технологий является их универсальность и широкая поддержка всеми современными веб-браузерами. Благодаря этому пользователям не требуется устанавливать дополнительное программное обеспечение для работы с веб-приложениями, что значительно упрощает их использование и повышает доступность. Веб-приложения, созданные на основе HTML, CSS и JavaScript, могут функционировать на различных операционных системах и устройствах, включая настольные компьютеры, планшеты и смартфоны. Это делает данные технологии востребованными в условиях стремительного развития интернета и увеличения числа пользователей мобильных устройств.

Важную роль в развитии веб-разработки сыграло появление большого количества библиотек и фреймворков, которые значительно расширяют возможности стандартного JavaScript. Среди наиболее известных и широко используемых инструментов можно отметить React, Vue и Angular. Они предоставляют разработчикам удобные механизмы для построения сложных пользовательских интерфейсов, управления состоянием приложения и организации структуры кода. Благодаря применению данных фреймворков становится возможным создание современных одностраничных приложений, которые отличаются высокой скоростью работы, удобством использования и высоким уровнем интерактивности. Кроме того, данные технологии обеспечивают высокую адаптивность пользовательского интерфейса. Это особенно важно в условиях широкого распространения мобильных устройств, когда веб-сайты и веб-приложения должны корректно работать на экранах различных размеров и разрешений. Использование адаптивного дизайна позволяет автоматически подстраивать расположение элементов интерфейса под характеристики устройства пользователя, обеспечивая комфортное взаимодействие с веб-приложением.

Несмотря на многочисленные преимущества, HTML, CSS и JavaScript имеют и определённые ограничения. HTML и CSS не являются полноценными языками программирования, поскольку они предназначены в первую очередь для разметки и оформления веб-страниц и не поддерживают реализацию сложной логики обработки данных. JavaScript, хотя и является полноценным языком программирования, при использовании исключительно на стороне клиента может сталкиваться с определёнными ограничениями, связанными с безопасностью, производительностью и доступом к системным ресурсам. В связи с этим при разработке полноценных веб-приложений обычно используется сочетание клиентских технологий с серверными языками программирования и системами обработки данных, что позволяет создавать более функциональные, безопасные и масштабируемые информационные системы.

TypeScript представляет собой надмножество языка JavaScript, которое расширяет его возможности за счёт введения статической типизации и дополнительных инструментов разработки. Благодаря этому разработчики могут выявлять многие ошибки на этапе компиляции, что повышает надёжность и поддерживаемость программного кода. TypeScript широко используется как при разработке клиентской части веб-приложений, так и на стороне сервера с использованием среды выполнения Node.js. Он играет важную роль в создании

логики пользовательского интерфейса и часто применяется совместно с современными фреймворками и библиотеками, такими как Angular, React и Vue.

Использование TypeScript особенно эффективно при разработке крупных и сложных веб-проектов, где большое количество компонентов и взаимосвязей между ними требует строгой структуры и хорошей организации кода. Благодаря поддержке модульности, интерфейсов и объектно-ориентированного программирования разработчики могут создавать более понятную и масштабируемую архитектуру приложений. В результате применение TypeScript способствует повышению качества программного обеспечения, улучшению командной разработки и упрощению дальнейшего сопровождения и развития веб-приложений. Typescript – это язык программирования, разработанный Microsoft. Он основан на JavaScript и также используется для фронтенд-разработки. Хотя TypeScript имеет сходство с JavaScript, его особенность – статическая система типизации данных. JavaScript – динамически типизированный язык, в котором типы переменных определяются во время выполнения. TS позволяет разработчикам объявлять типы статически. Типизация объектов TypeScript означает, что на этапе разработки можно указать типы данных, параметры функций и свойства объекта. Это помогает создавать более безопасный и надежный код [1]. К недостаткам TypeScript можно отнести необходимость дополнительного этапа компиляции перед выполнением программы, что может усложнять процесс сборки проекта. Также при работе с большими проектами система типизации требует более тщательного проектирования структуры данных, что может увеличивать время первоначальной разработки.

Язык программирования Dart также широко используется в современном процессе веб-разработки. Он активно применяется в экосистеме Flutter, что позволяет создавать кроссплатформенные пользовательские интерфейсы, работающие как в мобильных, так и в веб-приложениях. Одной из целей разработчиков языка было создание, по сути, улучшенной версии JS, которая эффективнее решала бы практические задачи программирования [2]. На рисунке 2 представлена структура веб-страницы, разработанной на языке Dart в экосистеме Flutter.

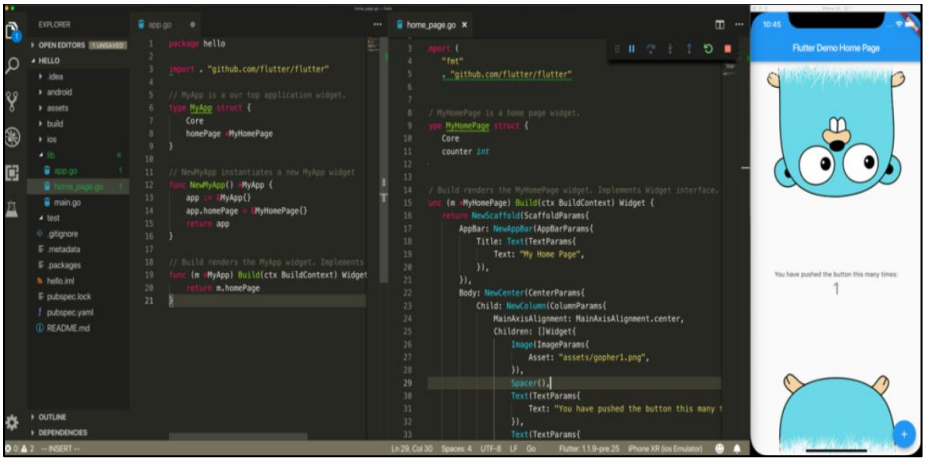


Рисунок 2 – Структура веб-страницы на основе Dart

В архитектуре веб-приложений Dart может использоваться для реализации логики приложения, обработки данных и взаимодействия с серверными сервисами. К преимуществам Dart относятся высокая производительность, стабильность работы при больших нагрузках и наличие современных механизмов безопасности. Кроме того, строгая система типизации и объектно-ориентированная модель программирования способствуют созданию структурированного, надёжного и масштабируемого программного кода. Это делает данный язык подходящим для разработки крупных информационных систем и сложных программных решений. Однако разработка на Dart может требовать более глубокого понимания его экосистемы, а настройка среды разработки и процесс развёртывания приложений иногда оказываются более сложными по сравнению с некоторыми другими языками программирования.

При сравнении HTML, CSS и JavaScript, а также TypeScript и Dart следует учитывать их роль в архитектуре веб-приложений. HTML, CSS и JavaScript непосредственно формируют структуру, внешний вид и интерактивность пользовательского интерфейса и являются

основными технологиями клиентской части веб-приложений. TypeScript используется для разработки более сложной логики интерфейса, обеспечивая статическую типизацию и улучшенную структуру программного кода. Это способствует повышению надёжности и упрощает сопровождение крупных проектов. Dart, в свою очередь, широко применяется в экосистеме Flutter для создания кроссплатформенных пользовательских интерфейсов, включая веб-приложения. Благодаря высокой производительности и развитой системе типизации Dart позволяет эффективно разрабатывать масштабируемые программные решения и сложные пользовательские интерфейсы.

Таким образом, различия между данными технологиями в основном заключаются в области их применения и архитектурной роли. HTML, CSS и JavaScript служат базовой основой для построения веб-интерфейсов, тогда как TypeScript и Dart выступают инструментами для повышения эффективности разработки, структурирования программного кода и создания более сложных и функциональных пользовательских приложений.

Заключение. В рамках проведенного анализа было подробно рассмотрено применение веб-языков программирования HTML/CSS/JavaScript, TypeScript и Dart при разработке пользовательских интерфейсов веб-приложений и программных систем. Каждая из рассмотренных технологий обладает своими преимуществами и недостатками и предоставляет программистам и разработчикам программного обеспечения различные возможности выбора в зависимости от конкретных задач и целей разработки. HTML/CSS/JavaScript представляют собой набор технологий, используемых для создания структуры веб-страниц, их визуального оформления и организации взаимодействия с пользователем. В свою очередь, TypeScript и Dart предоставляют разработчикам дополнительные инструменты для более удобной организации программного кода, а также уделяют внимание вопросам надежности и безопасности программных решений. Выбор языков программирования определяется требованиями проекта, его масштабом, бюджетом и уровнем сложности разрабатываемой системы. В современной практике разработки веб-приложений часто применяется комбинированное использование различных языков и инструментов программирования, что позволяет эффективно использовать их преимущества и минимизировать существующие недостатки, обеспечивая создание программных продуктов высокого качества.

Список литературы

1. *Язык программирования TypeScript: его преимущества и недостатки, отличия от JavaScript [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://gitverse.ru/blog/articles/development/190-yazyk-programmirovaniya-typescript-ego-preimushestva-i-nedostatki-otlichiya-ot-javascript*

2. *Язык программирования Dart [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://appfox.ru/blog/yazyk-programmirovaniya-dart/*

UDC 004.047

ANALYSIS OF TECHNOLOGIES AND PROGRAMMING LANGUAGES IN THE CREATION OF GRAPHIC WEB INTERFACES

Nguyen T.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Dik S.K. – Cand. of Sci., Associate Professor, Chair of the department of ECG

Annotation. This article examines the use of HTML/CSS/JavaScript technologies, as well as the programming languages TypeScript and Dart, to create graphical user interfaces for web applications. A comparative analysis of the solutions' functionality, architectural approaches, development ease, performance, and scalability is provided. The advantages and limitations of each of the tools under consideration are identified in the context of designing modern web interfaces.

Keywords: web interface, HTML, CSS, JavaScript, TypeScript, Dart, web development, frontend

УДК 004.928:004.514

ИГРОВЫЕ МЕХАНИКИ В ИНТЕРФЕЙСЕ ЦИФРОВЫХ ПРОДУКТОВ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ МОТИВАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

Попова Е.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Дик С.К. – к. ф.-м. н., доцент, зав. кафедрой ИКГ

Аннотация. Рассмотрены теоретические аспекты мотивации пользователей в цифровой среде, а также проведен анализ применения игрового подхода для её улучшения. Изучены ключевые механики геймификации, используемые в интерфейсах цифровых продуктов, и их воздействие на внешнюю и внутреннюю мотивацию. Определены основные преимущества и ограничения, связанные с внедрением игровых элементов в пользовательский интерфейс.

Ключевые слова: пользовательский интерфейс, геймификация, мотивация, пользовательский опыт, вовлеченность, игровые механики

Введение. В условиях высокой конкуренции цифровых продуктов, особую значимость приобретает проблема удержания мотивации пользователей. Современные интерфейсы должны не просто делать процесс взаимодействия легким, но и создавать устойчивый интерес к продукту и достигать поставленных пользователем целей.

Всё большую популярность набирают различные игровые механики, которые могут повышать активность человека. Элементы игровых механик должны соответствовать структуре интерфейса и психологическим особенностям пользователей. Неграмотное внедрение элементов может привести к снижению внутренней мотивации или к формированию внешней зависимости от стимулов. Таким образом, изучение игровых механик как способа повышения мотивации пользователей, является одной из актуальных задач в сфере проектирования интерфейсов.

Основная часть. Геймификация основывается на ключевых принципах человеческой мотивации. Главная идея заключается не в развлечении, а в создании таких условий, при которых человек испытывает дополнительное удовлетворение от достижения целей.

В психологии выделяют несколько популярных подходов к мотивации:

1 Пирамида потребностей Маслоу утверждает, что существует пять уровней потребностей: физиологические, безопасность, социальные связи, уважение и самореализация. Каждый следующий этап становится актуальным только после удовлетворения предыдущего. Геймификация часто ориентируется на высшие уровни пирамиды: потребность в уважении и самореализации, которые реализуются через таблицы лидеров или признание.

2 Теория двух факторов Герцберга разделяет мотивационные факторы на две категории: гигиенические, которые устраняют неудовлетворенность, и мотиваторы, способные побуждать людей к действию. Геймификация, как правило, является мотиватором – она делает повседневные задачи более привлекательными и стимулирует стремиться к лучшим результатам [1].

Мотивация может быть внешней и внутренней. Внешняя мотивация возникает при выполнении действий ради определенных наград или признания. Внутренняя мотивация, наоборот, исходит из собственного желания человека. Она проявляется в удовлетворении от самого процесса работы или игры и не зависит от внешних обстоятельств [1].

Геймификация воздействует на два фактора. Внешняя мотивация проявляется через систему вознаграждений, когда пользователи получают баллы, валюту или титулы за выполнение определённых задач. Однако длительное вовлечение требует подключения внутренней мотивации, которая подразумевает чувство прогресса, достижения мастерства или социальной значимости. Именно внутренние стимулы превращают геймификацию в мощный инструмент, с помощью которого пользователи не только стремятся к наградам, но и

развивают свои навыки, укрепляют статус в команде или наслаждаются процессом [1]. Одним из примеров применения геймификации в образовании является технология балльно-рейтинговой системы оценки качества знаний обучающихся, которая включает в себя в том числе и бонусные баллы за выполнение студентом той или иной формы активности, не являющейся обязательной для выполнения. Для предотвращения пропусков студентами занятий без уважительных причин и опозданий на них можно предусмотреть и штрафные баллы [2].

При внедрении игровых механик важно придерживаться нескольких основных правил:

1 Учитывайте особенности целевой аудитории. Важно понимать, кто ваши пользователи, так как разные группы реагируют на стимулы и награды по-разному.

2 Разрабатывайте простые и понятные игровые механики. Сложные сценарии могут отпугнуть пользователей и затруднить их взаимодействие с системой. Интуитивная простота должна стать основой механик.

3 Балансируйте уровень сложности и достигаемости целей. Игровые задачи должны быть увлекательными и демонстрировать реальность их выполнения.

4 Постоянно обновляйте сценарии. Повторяемые механики быстро теряют привлекательность, а новые задания и вызовы удерживают интерес пользователей.

5 Обеспечивайте обратную связь. Прогресс крайне важен для участников, ведь возможность видеть свои достижения стимулирует к дальнейшему участию [3].

Игровые механики, применяемые на различных платформах, основываются на глубоких исследованиях психологии и подкреплены опытом использования. Их задача выходит за пределы простого развлечения: такие механики направлены на то, чтобы влиять на поведение пользователей, увеличивать их вовлеченность и мотивировать к определенным действиям. Среди самых распространенных примеров геймификации, используемых в сайтах и приложениях, можно выделить следующие:

1 Баллы и уровни. Один из наиболее доступных способов реализации игровых элементов – начисление очков за выполнение конкретных действий. По мере набора определенного количества баллов пользователь продвигается на новый уровень, открывающий доступ к новым задачам или функциям.

2 Ежедневные задачи. Короткие и простые задания помогают удерживать интерес пользователей и стимулируют их возвращаться снова. Такой подход способствует развитию привычки регулярного взаимодействия с платформой.

3 Таблицы лидеров и конкуренция. Добавление элементов соревнования, например рейтингов, может стать мощным стимулом для пользователей. Для большей эффективности следует формировать группы по уровню активности, чтобы конкуренция была справедливой и увлекательной.

4 Персональная статистика. Возможность отслеживать собственные достижения мотивирует пользователей продолжать взаимодействие с приложением. Статистические данные могут также служить ценным ориентиром для прогресса.

5 Ежедневная мотивация. Для поддержания привычки регулярного использования можно внедрить отображение количества дней, проведенных в приложении. Однако числа порой бывают недостаточно убедительны – добавление интерактивных элементов усилит их эффект [4].

Данные механики помогают не только вовлекать пользователей в процесс, но и формируют устойчивую связь с продуктом, стимулируя его дальнейшее использование, что способствует повышению активности пользователей и эффективному достижению целей. Тем не менее важно учитывать особенности проектирования игровых элементов.

Геймификация пользовательского интерфейса и опыта взаимодействия, как и любая другая инновационная технология, обладает своими сильными и слабыми сторонами. Несмотря на значительные преимущества, применение может сопровождаться рядом трудностей и ограничений.

К основным проблемам использования геймификации можно отнести следующие:

1 Ограниченная мотивация пользователей. Одной из главных сложностей является то, что даже при внедрении игровых элементов не все пользователи сохраняют стабильный интерес к продукту или сервису.

2 Перебор с игровыми механиками. Чрезмерное насыщение интерфейса элементами геймификации может вызывать у пользователей перегруженность либо раздражение, затрудняя процесс взаимодействия.

3 Слабая интеграция с основным функционалом. Если игровые элементы плохо сочетаются с основными задачами пользователя, это способно вызвать путаницу и снизить восприятие продукта [5].

Несмотря на данные недостатки, геймификация остается эффективным инструментом, который, при грамотном подходе, позволяет повысить уровень вовлеченности пользователей. Однако для достижения положительного результата требуется тщательное планирование и анализ, чтобы избежать нежелательных эффектов.

Заключение. Изучены теоретические основы мотивации и особенности ее проявления в цифровой среде. Проведен анализ ключевых принципов геймификации и основных игровых механик, применяемых в интерфейсах современных цифровых продуктов. Установлено, что использование таких элементов, как баллы, уровни, достижения, рейтинги и ежедневные задачи, способствует увеличению вовлеченности пользователей и формирует устойчивый интерес к продукту.

Определено, что геймификация воздействует как на внешнюю, так и на внутреннюю мотивацию. Внешние стимулы реализуются через вознаграждения и поощрения, тогда как внутренние связаны с ощущением прогресса, достижением мастерства и повышением социальной значимости. Также выявлено, что успешность применения игровых механик зависит от их соответствия потребностям целевой аудитории, гармоничной интеграции в структуру интерфейса и сохранения баланса между игровыми элементами и основным функционалом продукта.

Список литературы

1. Геймификация и психология: почему игры мотивируют? [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://thehrd.ru/articles/gejmifikaciya-i-psihologiya-pochemu-igry-motiviruyut/. Дата доступа: 01.03.2026.

2. Попова, Т. В. Перспективы и риски внедрения геймификации в современном образовании / Т. В. Попова, О. Е. Ермакова, А. А. Долгова, Н. А. Черных // Вестник Костромского государственного университета. Серия: Педагогика. Психология. Социокинетика. – 2022. – № 2. – С. 12-17.

3. Использование геймификации в веб–дизайне [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://taptop.pro/blog/ispolzovanie-gejmifikacii-v-veb-dizajne. Дата доступа: 01.03.2026.

4. Геймификация в цифровых продуктах: лучшие практики [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.uprock.ru/articles/geymifikaciya-v-cifrovyh-produktah-luchshie-praktiki. Дата доступа: 28.02.2026.

5. Геймификация пользовательского интерфейса и опыта [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://apptask.ru/blog/geimifikaciia-polzovatelskogo-interfeisa-i-opyta. Дата доступа: 28.02.2026.

UDC 004.928:004.514

GAME MECHANICS IN DIGITAL PRODUCT INTERFACES AS A TOOL FOR INCREASING USER MOTIVATION

Popova E.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Dzik S.K – Cand. of Sci., Associate Professor, Chair of the department of ECG

Annotation. The theoretical aspects of user motivation in the digital environment were examined, and the application of a gamified approach to enhance it was analyzed. Key gamification mechanics used in digital product interfaces and their impact on both extrinsic and intrinsic motivation were studied. The main advantages and limitations associated with implementing game elements in user interfaces were identified.

Keywords: user interface, gamification, motivation, user experience, engagement, game mechanics

УДК 004.5

ИНТЕРФЕЙС КАК ИНСТРУМЕНТ УДЕРЖАНИЯ ВНИМАНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ МОТИВАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

Петрачков В.Л.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Вышинский Н.В. – к.т.н., профессор, профессор кафедры ИКГ

Аннотация. В данной работе рассмотрены особенности проектирования пользовательских интерфейсов как инструмента удержания внимания и повышения мотивации пользователей. Описаны факторы, влияющие на вовлеченность, а также принципы персонализации, постепенного вовлечения и геймификации как механизмы формирования устойчивого интереса. Показано, что удобство использования и понятность интерфейса способствует длительному взаимодействию пользователей с системой.

Ключевые слова: пользовательский интерфейс, внимание, мотивация, пользовательский опыт, вовлеченность, геймификация, когнитивная нагрузка

Введение. В настоящее время актуальной является проблема высокой конкуренции за внимание пользователя среди цифровых сервисов, а также снижение общей концентрации пользователей.

Ключевым аспектом эффективности приложения становится способность обеспечивать длительное и продуктивное взаимодействие с пользователем. Низкий уровень вовлеченности сводит на нет даже самые передовые технические возможности, усложняя выполнение поставленных пользователем задач.

В таких условиях пользовательский интерфейс становится не только средством взаимодействия с системой, но и инструментом формирования привычек и устойчивой активности пользователя.

В данной статье рассматриваются психологические и поведенческие основы удержания внимания, анализируются современные принципы проектирования пользовательских интерфейсов, а также предлагаются направления повышения вовлеченности пользователей через взаимодействие с программным продуктом.

Основная часть. Внимание – система отбора информации, позволяющая нам воспринимать только значимую для нас информацию, помогающая нам реагировать лишь на то, что для нас важно или представляет для нас интерес [1].

Процессы удержания внимания и повышение мотивации являются взаимосвязанными задачами, возникающими при проектировании интерфейсов. При помощи управления вниманием обеспечивается базовое взаимодействие с системой, а контроль мотивации обеспечивает его продолжение и повторяемость.

В следствие этого эффективный интерфейс должен учитывать когнитивные ограничения человека, эмоциональные механизмы восприятия и закономерности формирования привычек.

С точки зрения когнитивной психологии, внимание представляет собой ограниченный ресурс, имеющий свойство истощаться физическими и умственными усилиями, и распределяемый избирательно [2].

Так при взаимодействии с интерфейсом, перегруженным визуальными элементами, непредсказуемой иерархией элементов или сложной навигацией внимание пользователя будет заметно истощаться, снижая концентрацию и вовлеченность. И напротив, интерфейс с закономерной иерархией, понятной навигацией и общей предсказуемостью действий снижает когнитивную нагрузку, тем самым обеспечивая более продолжительное и продуктивное взаимодействие. Тем самым обеспечение качественного пользовательского опыта (UX) напрямую влияет на внимание и вовлеченность.

Цель UX – выявить барьеры и слабые места в дизайне, а затем исправить их: устранить несоответствие между ожиданиями человека и функциональностью продукта, снизить когнитивную нагрузку и сократить путь достижения цели [3]. Чем быстрее пользователь сможет выполнить поставленную задачу, тем лучше будет его опыт.

UX – это логика взаимодействия, удобство и функциональность. При помощи UX дизайнер может напрямую контролировать внимание пользователя, при помощи управления визуальным фокусом, снижения когнитивной нагрузки, дофаминовых стимулов и т.д.

Положительный UX формирует благоприятное восприятие продукта, повышая удовлетворенность и лояльность.

Мотивация пользователей напрямую влияет на такие показатели, как вовлеченность и коэффициент конверсии. Когда дизайн согласуется с мотивационными факторами пользователей, он сводит к минимуму отток и повышает удовлетворение.

Для формирования устойчивой мотивации в цифровой среде необходимо постоянное удовлетворение базовых психологических потребностей пользователя, таких как потребность в достижениях, потребность в принадлежности и потребность во власти [4].

Потребность в достижениях удовлетворяют следующие действия: сравнение прошлых и нынешних результатов, ощущение победы превыше участия, сравнение результатов с другими людьми, выполнение сложных задач.

Потребность в принадлежности удовлетворяет следующее: возможность познакомиться с новыми людьми, постоянная коммуникация, способны оказывать поддержку.

Потребность во власти удовлетворяет следующее: полномочия по делегированию задач, удовольствие от одновременного выполнения нескольких задач, слежка за своей собственной деятельностью и деятельностью других, воздействие на эмоции других людей.

Выделяют следующие принципы проектирования интерфейсов, направленные на удовлетворение данных потребностей и повышение мотивации и вовлеченности:

1 Персонализация пользовательского опыта – это использование информации о поведении человека с целью предоставить ему контент и функциональность, которые соответствуют его индивидуальным потребностям и интересам. Персонализация является скрытой – она контролируется системой и не требует сознательного участия и усилий со стороны пользователя [5].

Персонализация контента, рекомендаций и сценариев взаимодействия на основе предыдущего поведения пользователя повышает релевантность отображаемой информации и сокращает время поиска необходимых функций, что в свою очередь снижает когнитивную нагрузку и формирует ощущение контроля над системой.

2 Принцип постепенного вовлечения – это стратегия, при которой информация и функции предоставляются пользователям постепенно и избирательно в зависимости от их потребностей и уровня вовлеченности. Эта философия дизайна стремится избежать когнитивной перегрузки и оптимизировать пользовательский опыт, первоначально отображая только важные аспекты и постепенно раскрывая дополнительную информацию или возможности посредством взаимодействия или по мере проявления интереса со стороны пользователей [5].

3 Геймификация – это стратегия, которая привносит элементы игр в неигровые контексты [6].

Основой успешной геймификации в UX/UI дизайне является ясное определение целей и системы наград. Перед тем, как интегрировать геймификацию в дизайн, важно определить, какие именно цели вы хотите достичь. Чем более четко сформулированы цели, тем эффективнее будет геймификация [6].

Создание привлекательной системы наград играет ключевую роль в геймификации. Пользователи должны чувствовать, что достижение целей и выполнение задач приносит им какую-то выгоду. Это может быть представлено в виде бонусов, виртуальной валюты или других мотивирующих элементов. Также, добавление уровней сложности позволяет

адаптировать геймификацию под различные уровни пользовательских навыков, делая ее более доступной и интересной [6].

Различные инструменты, такие как прогресс-бары, визуализация достижений, и регулярные обновления целей, позволят поддерживать интерес пользователей. Эти инструменты помогают создать динамичный опыт, постоянно мотивируя пользователей двигаться вперед [6].

Таким образом, повышение мотивации и удержание внимания пользователей достигается за счет обеспечения положительного пользовательского опыта и удовлетворения таких потребностей как потребность в достижениях, потребность в принадлежности и потребность во власти, обеспечивающихся путем персонализации пользовательского опыта, постепенного вовлечения и геймификации, позволяющих создать наиболее продолжительное взаимодействие с системой.

Заключение. Рассмотрены основные подходы удержания внимания пользователей в цифровой среде, способствующие повышению мотивации и вовлеченности. Установлено, что обеспечение качественного пользовательского опыта напрямую влияет на благоприятное восприятие программного продукта, а учет ограниченности используемого пользователем внимания обеспечивает продолжительное и продуктивное взаимодействие.

Установлено, что устойчивое взаимодействие с цифровым продуктом происходит при условии удовлетворения таких базовых психологических потребностей как потребности в достижениях, принадлежности и контроле. Реализация данных потребностей возможна посредством применения таких принципов, как персонализация пользовательского опыта, постепенное вовлечение и геймификация.

Список литературы

1. *Непроизвольное, произвольное и послепроизвольное внимание [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://psychologos.ru/articles/view/neproizvolnoezpt-proizvolnoe-i-posleproizvolnoe-vnimanie. Дата доступа: 28.02.2026.*

2. *Ограниченность ресурса внимания [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://meta-forma.ru/blog/princzip-vnimaniya-%E2%84%96-3-ogranichennost-resursa-vnimaniya. Дата доступа: 28.02.2026.*

3. *Что такое UX-исследование и как его проводит [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.in-aim.ru/blog/chto-takoe-ux-issledovanie-i-kak-ego-provodit. Дата доступа: 28.02.2026.*

4. *3 Types of Motivation [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.luxoft.com/blog/3-types-of-motivation-what-is-driving-you-and-how-can-you-drive thers#::text=According%20to%20the%20Theory%20. Дата доступа: 28.02.2026.*

5. *Персонализация в UX [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.uprock.ru/articles/personalizaciya-v-ux. Дата доступа: 28.02.2026.*

6. *Геймификация в UX/UI: Как Превратить Ваш Дизайн в Захватывающую Игру [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://vc.ru/design/1036280-geimifikaciya-v-ux-ui-kak-prevratit-vash-dizain-v-zahvatyvayushuyu-igru. Дата доступа: 28.02.2026.*

UDC 004.5

INTERFACE AS A TOOL FOR ATTENTION RETENTION AND USER MOTIVATION ENHANCEMENT

Petrachkov V.L.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Vyshinsky N.V. – Cand. of Sci., Professor, Professor of the department of ECG

Annotation. This article examines the design features of user interfaces as a tool for retaining attention and enhancing user motivation. The factors influencing user engagement are described, along with the principles of personalization, progressive engagement, and gamification as mechanisms for developing sustained interest. It is shown that usability and clarity of the interface contribute to long-term interaction between users and the system.

Keywords: user interface, attention, motivation, user experience, engagement, gamification, cognitive load

УДК 621.7.04:621.865

ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ СОЗДАНИИ ПРОТОТИПОВ РОБОТИЗИРОВАННЫХ УСТРОЙСТВ

Яхья-заде А. С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Вышинский Н. В. – к.т.н., профессор, профессор кафедры ИКГ

Аннотация. В статье рассматривается применение аддитивных технологий для создания прототипов роботизированных устройств. Проведён анализ основных методов 3D-печати, используемых в робототехнике: FDM, SLA и SLS. Показаны преимущества и ограничения данного подхода при проектировании механических узлов и функциональных деталей.

Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D-печать, прототипирование, роботизированные устройства, FDM, SLA

Введение. Развитие робототехники в последние десятилетия характеризуется стремительным расширением областей применения роботизированных систем: от промышленной автоматизации до медицинских и бытовых устройств. Одним из ключевых этапов в процессе разработки таких систем является создание физических прототипов, позволяющих верифицировать конструктивные решения до запуска серийного производства. Традиционные методы изготовления прототипов требуют значительных временных и финансовых затрат, что существенно замедляет цикл разработки.

В данном контексте аддитивные технологии – совокупность методов послойного синтеза трёхмерных объектов – представляют собой эффективную альтернативу классическим технологиям обработки материалов. Возможность быстрого перехода от цифровой модели к физическому изделию, а также гибкость в изменении конструкции без необходимости переоснащения производства делают аддитивные технологии идеальным инструментом при разработке роботизированных устройств [1].

Основная часть. Аддитивные технологии объединяют широкий спектр методов, различающихся по применяемым материалам, физическим принципам и точности изготовления. В контексте прототипирования роботизированных устройств наибольшее распространение получили следующие технологии.

Технология моделирования методом послойного наплавления (FDM – Fused Deposition Modeling) является наиболее доступной и широко распространённой. В её основе лежит послойное нанесение расплавленной нити из термопластичного материала по заданной траектории. Для изготовления прототипов роботов чаще всего используется полилактид (PLA), акрилонитрилбутадиенстирол (ABS), а также нейлоновые и полиэфирные нити. FDM-печать позволяет быстро получать прочные детали с достаточно высокой геометрической точностью – погрешность составляет порядка 0,1–0,3 мм [2].

Стереолитография (SLA – Stereolithography) основана на послойной полимеризации жидкой фотополимерной смолы под воздействием ультрафиолетового лазера. Данная технология обеспечивает значительно более высокую точность и качество поверхности по сравнению с FDM, что делает её предпочтительной для изготовления деталей со сложной геометрией. Точность SLA-печати может достигать 0,025 мм, однако механические свойства фотополимеров, как правило, уступают свойствам термопластиков, применяемых в FDM.

Технология селективного лазерного спекания (SLS – Selective Laser Sintering) использует лазерное спекание порошковых материалов: полиамида, поликарбоната, стекло– и углеволоконных наполненных полимеров. SLS позволяет изготавливать функциональные детали с высокими механическими характеристиками без применения поддерживающих структур, что существенно упрощает постобработку. Данная технология применяется для

производства несущих элементов манипуляторов и корпусных деталей мобильных роботов [3].

При создании прототипов роботизированных устройств аддитивные технологии применяются на нескольких уровнях конструктивной иерархии. На уровне кинематических узлов с помощью 3D-печати изготавливаются звенья манипуляторов, корпусные детали, кронштейны крепления сенсоров и приводов. Изготовление таких элементов методами аддитивного производства позволяет сократить сроки прототипирования в 3–5 раз по сравнению с традиционной механической обработкой [2].

Применение гибких фотополимеров и термопластичных эластомеров (TPU) открывает возможность изготовления мягких роботизированных захватов и гибких приводных элементов – компонентов, работающих по принципу пневматической или гидравлической актуации. Подобные устройства находят широкое применение в медицинских манипуляторах и системах захвата хрупких объектов.

Интеграция проводящих материалов при многоматериальной 3D-печати позволяет создавать встроенные токопроводящие дорожки непосредственно в процессе формирования корпусных деталей, что упрощает монтаж электронных компонентов и уменьшает массу роботизированного устройства. Параллельно с изготовлением механических компонентов ведётся верификация кинематической схемы с использованием программных пакетов имитационного моделирования, таких как ROS (Robot Operating System) и Gazebo [4].

Среди ограничений аддитивных технологий при прототипировании роботизированных систем следует выделить следующее: изотропность механических свойств деталей, полученных FDM-методом, уступает свойствам деталей, изготовленных механической обработкой или литьём; точность большинства настольных FDM-принтеров не позволяет получать посадочные поверхности с полями допуска выше 7–8 квалитета без дополнительной обработки; выбор материалов ограничен технологическими возможностями конкретного оборудования.

Тем не менее, практика прототипирования показывает, что сочетание FDM-печати с точными покупными элементами – подшипниками, шестернями, стандартными крепёжными изделиями – позволяет добиться вполне удовлетворительных функциональных характеристик прототипа при минимальных затратах. Такой подход широко применяется в академической среде и стартап-компаниях при разработке первых итераций роботизированных устройств [1].

В качестве практического примера рассмотрим процесс создания прототипа шестизвенного манипулятора с помощью FDM-технологии. Трёхмерные модели звеньев манипулятора разрабатываются в САПР (например, SolidWorks или Fusion 360) с учётом рекомендаций по ориентации деталей при печати для обеспечения наилучших механических свойств. Конструктивные зазоры между сопрягаемыми деталями выбираются в диапазоне 0,2–0,4 мм для обеспечения свободной посадки с учётом погрешностей печати.

После изготовления деталей проводится сборка прототипа: звенья манипулятора соединяются с помощью серводвигателей типа MG996R или Dynamixel, управление которыми осуществляется микроконтроллером STM32 или платформой Arduino. На данном этапе верифицируется корректность кинематической схемы, точность воспроизведения траекторий и нагрузочные характеристики конструкции. В случае выявления недостатков конструкция оперативно модифицируется, после чего цикл прототипирования повторяется [5].

Использование облачных платформ для хранения и совместной разработки 3D-моделей (GrabCAD, Onshape) в сочетании с аддитивным производством формирует итерационный процесс разработки, при котором полный цикл – от модификации конструкции до тестирования нового прототипа – занимает от нескольких часов до одного рабочего дня. Это кардинально изменяет характер инженерной деятельности в области робототехники, снижая стоимость ошибки и стимулируя поиск нестандартных конструктивных решений.

Важным направлением применения аддитивных технологий является производство корпусных деталей мобильных роботизированных платформ. Лёгкие, геометрически сложные корпуса, изготовленные методом FDM или SLS, позволяют оптимально распределить

внутреннее пространство платформы для размещения аккумуляторных батарей, управляющей электроники, датчиков и приводов. При этом масса корпусных деталей, изготовленных из PLA или нейлона, может быть в 3–4 раза ниже по сравнению с аналогичными деталями из алюминиевых сплавов [3].

Перспективным направлением является применение аддитивных технологий для изготовления корпусов роботов с интегрированными каналами системы охлаждения, полостями для прокладки проводки и элементами крепления плат расширения. Подобная конструктивная интеграция возможна только при использовании аддитивного производства и требует тщательного планирования топологии изделия на этапе проектирования.

Следует также отметить перспективы применения металлической 3D-печати (SLM – Selective Laser Melting, DMLS – Direct Metal Laser Sintering) для изготовления нагруженных деталей роботизированных систем. Хотя данные технологии пока остаются относительно дорогостоящими, их применение оправдано при создании прототипов деталей с высокими требованиями к механическим свойствам: зубчатых колёс, осей, несущих кронштейнов. Металлическая 3D-печать позволяет реализовать оптимизированные топологически структуры с минимальной массой при заданной жёсткости конструкции [2].

Заключение. Аддитивные технологии обеспечивают существенное ускорение процесса разработки роботизированных устройств за счёт сокращения сроков и стоимости изготовления прототипов. Методы FDM, SLA и SLS дополняют друг друга, образуя инструментарий, позволяющий решать широкий круг задач – от изготовления корпусных элементов с пониженными требованиями к точности до получения функциональных деталей со сложной геометрией. Итерационный характер аддитивного прототипирования позволяет в разы сократить время от идеи до действующего прототипа. Дальнейшее развитие данного направления связано с расширением номенклатуры применяемых материалов, повышением точности оборудования и интеграцией аддитивных технологий в автоматизированные производственные цепочки.

Список литературы

1. Lipson, H. Fabricated: The New World of 3D Printing / H. Lipson, M. Kurman. – Indianapolis : John Wiley & Sons, 2013. – 320 p.

2. Gibson, I. Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing / I. Gibson, D. Rosen, B. Stucker. – New York : Springer, 2015. – 498 p.

3. Siciliano, B. Robotics: Modelling, Planning and Control / B. Siciliano, L. Sciavicco, L. Villani, G. Oriolo. – London : Springer, 2010. – 632 p.

4. Quigley, M. ROS: an open-source Robot Operating System / M. Quigley [et al.] // ICRA Workshop on Open Source Software. – 2009. – Vol. 3, No. 3.2. – P. 5.

5. Ngo, T. D. Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges / T. D. Ngo, A. Kashani, G. Imbalzano, K. T. Q. Nguyen, D. Hui // Composites Part B: Engineering. – 2018. – Vol. 143. – P. 172–196.

UDC 621.7.04:621.865

APPLICATION OF ADDITIVE TECHNOLOGIES IN THE CREATION OF PROTOTYPES OF ROBOTIC DEVICES

Yahya-zada A. S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Vyshinskiy N. V. – Cand. of Sci., Professor, Professor of the department of ECG

Annotation. The article considers the application of additive technologies for the prototyping of robotic devices. The main 3D printing methods used in robotics are analysed: FDM, SLA and SLS. The advantages and limitations of this approach for the design of mechanical assemblies and functional parts are demonstrated.

Keywords: additive technologies, 3D printing, prototyping, robotic devices, FDM, SLA

УДК 004.921

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ DASSAULT SYSTEMES SOLIDWORKS ДЛЯ ИСЛЕДОВАНИЯ АЭРОДИНАМИКИ АВТОМОБИЛЯ

Худер Л.Д.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Столер В. А. – к.т.н., доцент, профессор кафедры ИКГ

Аннотация. Статья посвящена изучению возможностей проведения аэродинамических исследований в программном комплексе Dassault Systemes SOLIDWORKS, анализу трёхмерной модели автомобиля, настройке параметров численного расчёта и оценке изменения скорости и направления ветра при контакте с элементами конструкции.

Ключевые слова: автомобиль, трёхмерная модель, аэродинамика, распределение скорости потока, направление воздушного потока, параметры расчёта, Dassault Systemes SOLIDWORKS

Введение. В условиях современного развития автомобилестроения аэродинамическая оптимизация конструкции транспортных средств приобретает всё большее значение. Характер распределения воздушных потоков влияет на устойчивость, энергоэффективность и динамические характеристики автомобиля, что делает проведение аэродинамических исследований неотъемлемой частью процесса проектирования [1].

Традиционные экспериментальные методы анализа очень затратны, что особенно актуально на ранних этапах разработки. В связи с этим возрастает роль программных средств численного моделирования, позволяющих исследовать поведение воздушной среды и оценивать влияние геометрии конструкции без создания физических прототипов.

Основная часть. Для проведения исследования аэродинамики использован модуль Flow Simulation программного комплекса Dassault Systemes SOLIDWORKS. В качестве объекта анализа выбрана трёхмерная модель болида Формулы 1, так как модель такого автомобиля обладает сложной конструкцией кузова и имеет аэродинамические элементы, такие как переднее и заднее антикрылья, боковые обтекатели и диффузор [2]. Эти элементы существенно влияют на распределение воздушных потоков и формирование аэродинамических сил, что делает болид подходящим примером для демонстрации возможностей численного моделирования.

Перед запуском расчёта выполнена настройка параметров среды, включая скорость и направление воздушного потока, температуру и плотность воздуха (рисунок 1).

Настройка этих параметров позволяет моделировать различные условия обтекания, включая как спокойное движение, так и взаимодействие с боковыми потоками. Такой подход обеспечивает возможность анализа чувствительности конструкции к изменениям внешних условий и выявления зон потенциального аэродинамического эффекта [3].

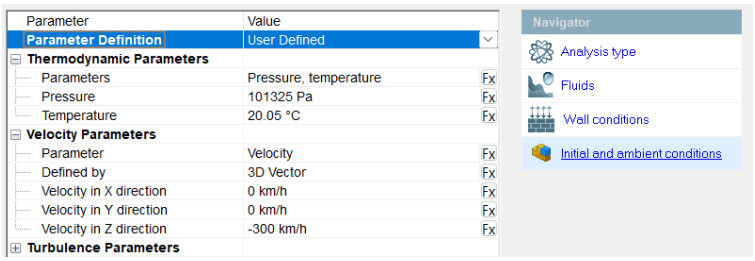


Рисунок 1 – Окно Настройки параметров среды

В процессе численного расчёта были получены распределения основных аэродинамических характеристик: скорость потока, давление, плотность воздуха и температура. Результаты визуализируются с помощью линий потока и цветовой карты, отражающей изменения параметров потока вокруг болида [4]. На визуализациях легко выделяются зоны ускорения и замедления воздушного потока, участки формирования завихрений и локальные изменения давления, что позволяет оценивать влияние каждого элемента конструкции на общую аэродинамическую эффективность (рисунок 2).

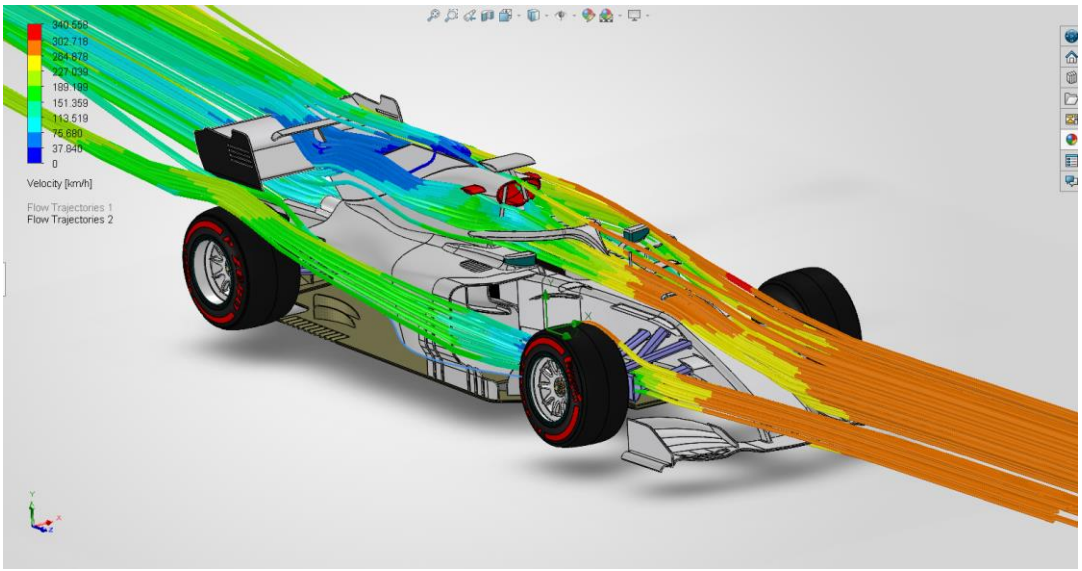


Рисунок 2 – Взаимодействие потока воздуха с 3D моделью

Для более детального анализа распределения давления вокруг болида применены сечения (cut plots), позволяющие визуализировать изменение давления воздуха на различных плоскостях модели (рисунок 3). Такая визуализация позволяет выявлять зоны локального повышения и понижения давления, а также оценивать влияние элементов конструкции на формирование аэродинамических сил.

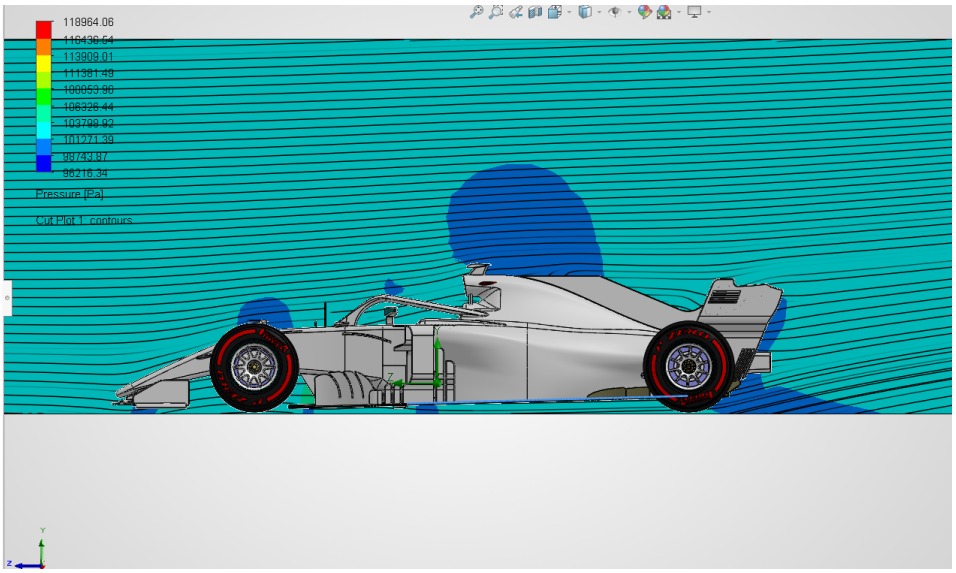


Рисунок 3 – Визуализация распределения давления вокруг 3D модели с помощью инструмента сечения

На сечениях хорошо прослеживаются участки концентрации давления около переднего и заднего антикрыльев, диффузора, а также в верхней части, где располагается воздухозаборник, что даёт более точное представление о взаимодействии воздушного потока с элементами кузова.

Использование Flow Simulation также предоставляет возможность проводить пошаговый анализ изменения параметров аэродинамики при модификации формы элементов кузова. Это позволяет на ранних стадиях проектирования выявлять проблемные участки конструкции, снижать риск возникновения аэродинамических дефектов и сокращать временные и материальные затраты по сравнению с традиционными экспериментальными методами, такими как изготовление физических моделей и испытания в аэродинамических трубах.

Применение численного моделирования наглядно демонстрирует, как программные инструменты могут использоваться для анализа аэродинамических процессов, оценки влияния геометрических особенностей и подготовки инженерных решений без необходимости проведения дорогостоящих физических экспериментов [5]. Такой подход обеспечивает более быстрый цикл проектирования и позволяет сосредоточить ресурсы на оптимизации конструкции и проверке наиболее критичных элементов.

Заключение. Выполнен анализ возможностей численного моделирования аэродинамических процессов с использованием модуля Flow Simulation программного комплекса Dassault Systemes SOLIDWORKS на примере сложной модели автомобиля. Установлено, что программная среда позволяет получать распределения скорости потока, давления, плотности и температуры воздуха, а также визуализировать изменение направления воздушных потоков при взаимодействии с элементами конструкции.

Определено, что применение методов вычислительной гидродинамики на ранних этапах проектирования обеспечивает выявление зон неблагоприятного распределения потока и позволяет проводить предварительную оценку аэродинамической эффективности без изготовления физических прототипов.

Показана целесообразность использования программного моделирования для сокращения временных и материальных затрат при проведении аэродинамических исследований. Полученные результаты подтверждают эффективность применения численных методов.

Список литературы

1. Aerodynamics of road vehicles / Wolf-Heinrich Hucho. – Springer, 2013. – Pp. 15–35
2. The Science of Formula 1 Design / A. Smith. – Haynes Publishing, 2019. – Pp. 45–62.3.
3. Dassault Systèmes. SOLIDWORKS Flow Simulation 2025 Help Documentation / Dassault Systèmes. – 2025. – Pp. 1–50.
4. Computational Fluid Dynamics with Visualizations / J.D. Anderson. – McGraw-Hill, 2011. – Pp. 100–125.
5. SAE Technical Paper. CFD in Automotive Engineering: Applications and Limitations / SAE. – 2018. – Paper 2018-01-1234. – Pp. 1–12.

UDC 004.921

USING DASSAULT SYSTEMES SOLIDWORKS TO CONDUCT AERODYNAMIC RESEARCH USING A COMPLEX 3D CAR MODEL

Khouder L.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Stoler V. A. – Cand. of Sci., associate professor, professor of the department of ECG.

Annotation. This article explores the possibilities of conducting aerodynamic studies in the Dassault Systemes SOLIDWORKS software package, analyzing a three-dimensional model of a vehicle, setting up numerical calculation parameters, and assessing changes in wind speed and direction upon contact with structural elements.

Keywords: Automobile, 3D model, aerodynamics, flow velocity distribution, airflow direction, calculation parameters, Dassault Systemes SOLIDWORKS

УДК 004.8:004.94

АНАЛИЗ И СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ НЕИГРОВЫХ ПЕРСОНАЖЕЙ В ВИДЕОИГРАХ

Яхья-заде С.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Столер В. А. – к.т.н., доцент, профессор кафедры ИКГ

Аннотация. В статье рассматриваются основные методы моделирования поведения неигровых персонажей (NPC) в видеоиграх: конечные автоматы, деревья поведения, планировщики и подходы на основе машинного обучения. Проводится их сравнительный анализ по критериям производительности, гибкости и реализуемости. Предложены рекомендации по выбору метода в зависимости от типа игрового проекта.

Ключевые слова: неигровые персонажи, искусственный интеллект в играх, конечные автоматы, деревья поведения, машинное обучение, поведенческое моделирование

Введение. Неигровые персонажи NPC (Non-Player Characters) являются неотъемлемой частью современных видеоигр. Их поведение во многом определяет игровой опыт: достаточно реалистичное и непредсказуемое поведение персонажей создаёт ощущение живого мира, тогда как примитивные реакции снижают погружение. С ростом вычислительных мощностей и усложнением игровых сценариев требования к системам искусственного интеллекта NPC существенно возросли. Разработчики вынуждены искать баланс между вычислительной эффективностью, реалистичностью поведения и сложностью реализации. Кроме того, развитие игровых технологий и рост ожиданий игроков требуют создания всё более сложных моделей поведения, способных имитировать элементы человеческого принятия решений.

Задача моделирования поведения NPC сводится к формальному описанию правил, по которым персонаж воспринимает игровую среду и выбирает дальнейшие действия. Выбор подходящего метода влияет не только на качество поведения, но и на общую производительность игры, трудоёмкость разработки и поддержки игровой логики. Существующие подходы значительно варьируются по уровню сложности – от детерминированных конечных автоматов до адаптивных нейронных сетей.

Цель данной работы – провести систематический сравнительный анализ наиболее распространённых методов моделирования поведения NPC, выявить их достоинства и недостатки, а также определить области наиболее эффективного применения каждого подхода в зависимости от масштаба и жанра игрового проекта.

Основная часть. Конечные автоматы FSM (Finite State Machines) – один из старейших и наиболее широко применяемых методов моделирования поведения NPC. Принцип работы FSM основан на разбиении всего поведения персонажа на конечное число состояний (например: «патрулирование», «преследование», «атака», «отступление»), между которыми осуществляются переходы при выполнении определённых условий [1].

Главным достоинством FSM является простота реализации и высокая производительность: вычислительная стоимость обновления состояния агента минимальна. Кроме того, поведение NPC легко предсказуемо и прозрачно с точки зрения разработчика, что существенно упрощает отладку. Тем не менее, по мере усложнения логики FSM превращается в труднопрогнозируемое «спагетти состояний»: количество переходов растёт квадратично относительно числа состояний.

Для смягчения этой проблемы используются иерархические конечные автоматы (HFSM), где состояния могут содержать подсостояния, что позволяет структурировать поведение по уровням абстракции. HFSM широко применяются в играх жанра RTS и шутерах от первого лица, где требуется поддержка как высокоуровневых стратегических, так и низкоуровневых тактических состояний [2].

Деревья поведения (Behavior Trees, BT) получили широкое распространение в игровой индустрии благодаря их модульности и читаемости. Структура BT представляет собой дерево, узлы которого делятся на управляющие (Sequence, Selector, Parallel) и листовые (Action, Condition). Обход дерева осуществляется сверху вниз, и каждый узел возвращает одно из трёх значений: Success, Failure или Running [3].

По сравнению с FSM деревья поведения значительно проще масштабировать: новые поведения добавляются как новые ветки без необходимости пересматривать существующую логику. Ключевым архитектурным дополнением к BT является «чёрная доска» (Blackboard) – общее хранилище данных, к которому обращаются отдельные узлы дерева. Это позволяет реализовывать сложную разделяемую логику без избыточного дублирования данных. BT активно применяются в AAA-проектах: Halo 2, Spore, серии Uncharted и многих других.

Недостатком является несколько более высокая вычислительная стоимость по сравнению с FSM, а также риск возникновения логических ошибок в глубоко вложенных деревьях. Для оптимизации нередко применяется кэширование результатов выполнения узлов между кадрами, что позволяет избежать повторного обхода неизменившихся ветвей.

Планировщики задач GOAP **(**Goal-Oriented Action Planning) – подход, при котором агент самостоятельно планирует последовательность действий для достижения поставленной цели, используя алгоритм A*(эвристический алгоритм поиска) в пространстве состояний мира. Каждое действие описывается предусловиями и эффектами, что позволяет планировщику динамически строить цепочки действий, ранее не предусмотренные разработчиком явно [4]. GOAP обеспечивает высокую гибкость и адаптивность: NPC способен реагировать на неожиданные изменения ситуации, формируя нестандартные решения из доступного набора примитивных действий. Примером успешной реализации служит игра F.E.A.R. (Monolith Productions, 2005), где GOAP обеспечил впечатляющее тактическое поведение противников, которое воспринималось игроками как высокоинтеллектуальное даже при относительно небольшом наборе доступных действий.

Вычислительная стоимость планирования может быть значительной при большом числе одновременно активных агентов и длинных цепочках действий. На практике применяются ограничения глубины поиска и предварительное разбиение целей на подзадачи для снижения нагрузки на планировщик.

С развитием нейронных сетей и методов обучения с подкреплением (Reinforcement Learning, RL) в игровой индустрии всё активнее исследуются подходы к созданию NPC на основе машинного обучения. Агент обучается посредством взаимодействия с игровой средой, получая скалярное вознаграждение или штраф за свои действия, и постепенно вырабатывает оптимальную политику поведения [5].

Наиболее известными демонстрациями возможностей RL в играх являются AlphaGo (DeepMind), AlphaStar (StarCraft II) и проект OpenAI Five (Dota 2), где агенты достигли сверхчеловеческого уровня мастерства. В коммерческих видеоиграх применение RL ограничено непредсказуемостью обученного поведения, сложностью интерпретации и отладки, а также высокими требованиями к вычислительным ресурсам в процессе обучения. Тем не менее, активное развитие специализированных библиотек и игровых движков постепенно упрощает интеграцию методов машинного обучения в реальные игровые проекты.

Перспективным направлением является использование имитационного обучения (Imitation Learning), при котором агент обучается на записанных данных поведения человека-игрока. Данный подход позволяет получить более предсказуемое поведение NPC, сохраняя при этом часть адаптивности, присущей методам RL [6].

На основании рассмотренных подходов проведём их сравнение по ключевым критериям: производительности, гибкости, масштабируемости и сложности реализации.

Конечные автоматы демонстрируют наивысшую производительность при наименьшей гибкости; деревья поведения обеспечивают хороший баланс между производительностью и масштабируемостью. GOAP обеспечивает высокую адаптивность ценой дополнительных вычислительных затрат. Методы на основе машинного обучения превосходят остальные по потенциальной гибкости, однако остаются наименее предсказуемыми и наиболее ресурсоёмкими при обучении.

Выбор метода моделирования поведения NPC должен определяться исходя из особенностей конкретного игрового проекта. Для простых игр с ограниченными ресурсами (мобильные платформы, инди-игры) рекомендуется применение FSM или иерархических FSM ввиду их низкой вычислительной стоимости и простоты реализации. Для крупных проектов с богатым игровым миром оптимальным выбором являются деревья поведения, возможно дополненные элементами GOAP.

На практике наиболее распространённым решением является гибридный подход: деревья поведения используются как основная управляющая структура, тогда как отдельные листовые узлы могут задействовать GOAP для локального планирования или нейронные сети для специализированных задач – навигации в сложном пространстве, оценки уровня угрозы либо имитации человекоподобного стиля игры. Кроме того, современные игровые проекты всё чаще используют комбинированные архитектуры искусственного интеллекта, в которых различные методы моделирования поведения NPC дополняют друг друга. Такая архитектура сочетает предсказуемость и производительность с гибкостью более сложных методов [3, 4].

Методы машинного обучения целесообразно рассматривать в качестве экспериментальных дополнений, особенно в проектах с процедурной генерацией контента и адаптивным балансом сложности. С развитием инструментальной базы и ростом производительности аппаратного обеспечения ожидается более широкое внедрение RL и имитационного обучения в коммерческих играх в ближайшее десятилетие.

Заключение. В работе проведён сравнительный анализ четырёх основных методов моделирования поведения неигровых персонажей в видеоиграх: конечных автоматов, деревьев поведения, GOAP-планировщиков и методов на основе машинного обучения. Показано, что каждый из подходов обладает специфическими достоинствами и ограничениями, определяющими сферу его применения. Наиболее универсальным и практически применимым в современных проектах является подход на основе деревьев поведения, который может быть расширен элементами планирования для повышения адаптивности NPC. Интеграция методов машинного обучения остаётся актуальной задачей дальнейших исследований в области игрового искусственного интеллекта.

Список литературы

1. Millington, I. Artificial Intelligence for Games / I. Millington, J. Funge. – 2nd ed. – Burlington : Morgan Kaufmann Publishers, 2009. – 896 p.

2. Buckland, M. Programming Game AI by Example / M. Buckland. – Plano : Wordware Publishing, 2005. – 520 p.

3. Colledanchise, M. Behavior Trees in Robotics and AI: An Introduction / M. Colledanchise, P. Ögren. – Boca Raton : CRC Press, 2018. – 222 p.

4. Orkin, J. Three States and a Plan: The A.I. of F.E.A.R. / J. Orkin // Game Developers Conference Proceedings. – 2006. – P. 1–9.

5. Sutton, R.S. Reinforcement Learning: An Introduction / R. S. Sutton, A. G. Barto. – 2nd ed. – Cambridge : MIT Press, 2018. – 552 p.

6. Шишков, А. В. Методы обучения с подкреплением в системах игрового ИИ / А. В. Шишков // Информационные технологии и системы. – 2022. – № 4. – С. 45–53.

UDC 004.8:004.94

ANALYSIS AND COMPARATIVE STUDY OF METHODS FOR MODELING NON-PLAYER CHARACTER BEHAVIOR IN VIDEO GAMES

Yahya-zada S. S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Stoler V. A. – Cand. of Sci., associate professor, professor of the department of ECG.

Annotation. The article examines the main methods for modeling non-player character (NPC) behavior in video games: finite state machines, behavior trees, planners, and machine learning-based approaches. A comparative analysis is conducted based on the criteria of performance, flexibility, and implementability. Recommendations are provided for choosing a method depending on the type of game project.

Keywords: non-player characters, artificial intelligence in games, finite state machines, behavior trees, machine learning, behavioral modeling

УДК 37.091.3

КОГНИТИВНЫЕ СТИЛИ УЧАЩИХСЯ СТАРШИХ КЛАССОВ И СТУДЕНТОВ И ИХ УЧЁТ В ДИЗАЙН-ВИЗУАЛИЗАЦИИ АБСТРАКТНЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ КОНЦЕПЦИЙ

Сыс Е.Д.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Гиль С.В. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ИКГ

Аннотация. В статье рассматривается проблема учёта когнитивных стилей учащихся при изучении абстрактных математических понятий. Анализируются подходы Г. Виткина, Р. Райдинга, Р. Фелдера и Л. Сильверман. Обосновывается необходимость применения дизайн-визуализации как средства адаптации учебного материала к индивидуальным особенностям восприятия. Показано, что визуальные модели способствуют снижению когнитивной нагрузки и формированию интуитивного понимания сложных концепций математического анализа.

Ключевые слова: когнитивные стили, учебные стили, дизайн-визуализация, математический анализ, визуализация в обучении, абстрактные понятия

Введение. Современное образование сталкивается с проблемой эффективного объяснения абстрактных математических понятий учащимся различных когнитивных типов. Особенно остро эта проблема проявляется при переходе от школьной математики к университетским дисциплинам, таким как математический анализ. Для старшеклассников и студентов первых курсов характерна высокая когнитивная нагрузка, связанная с освоением формальных символических систем, абстрактных моделей и доказательных рассуждений.

Одним из факторов, влияющих на успешность освоения таких дисциплин, являются когнитивные стили учащихся, то есть устойчивые индивидуальные особенности переработки информации. Учет этих особенностей становится важным условием разработки эффективных образовательных средств, в том числе методов визуализации математических концепций.

Основная часть. Когнитивный стиль представляет собой индивидуальный способ восприятия, анализа и структурирования информации. В отличие от уровня интеллекта, когнитивный стиль не характеризует способности человека, а отражает предпочтительные стратегии обработки информации. В образовательной среде он проявляется в том, как учащийся воспринимает объяснения, анализирует задачи и усваивает новые понятия.

Одной из ранних и наиболее известных классификаций когнитивных стилей является концепция Германа Виткина, который выделил поле-зависимый и поле-независимый типы мышления. Поле-зависимые учащиеся ориентируются на внешний контекст и воспринимают информацию целостно, тогда как поле-независимые склонны анализировать структуру объекта и выделять отдельные элементы. В обучении математике поле-независимые учащиеся чаще легче справляются с формальными доказательствами и аналитическими задачами, тогда как поле-зависимые учащиеся лучше воспринимают материал при наличии наглядных примеров и визуальных моделей [1].

Другой подход к изучению когнитивных стилей предложил Ричард Райдинг, который выделил два основных измерения: «целостность – аналитичность» и «вербальность – образность». В отличие от подходов, таких как модель Г. Виткина, которая фокусируется на восприятии контекста, модель Р. Райдинга интегрирует аспекты организации и представления информации. Она особенно полезна в образовательном контексте, поскольку помогает адаптировать методы преподавания к индивидуальным предпочтениям учащихся, снижая когнитивную нагрузку и повышая эффективность усвоения материала. В математическом образовании это различие критично, так как оно объясняет, почему некоторые ученики лучше

справляются с абстрактными символами и текстом, а другие нуждаются в визуальных моделях для понимания концепций вроде пределов или интегралов.

В рамках первого измерения – «целостность – аналитичность» – учащиеся могут воспринимать информацию либо как единое целое (целостный стиль), фокусируясь на общей картине и взаимосвязях, либо как систему отдельных элементов (аналитический стиль), предпочитая разбивать сложные структуры на компоненты для детального анализа. Целостные учащиеся склонны к синтезу идей и быстрым обобщениям, но могут упускать детали, в то время как аналитические – к тщательному разбору частей, что помогает в выявлении закономерностей, но иногда затрудняет видение общей структуры. Это измерение перекликается с концепциями Г. Виткина, но акцентирует внимание на стратегиях организации информации, а не только на восприятии.

Второе измерение – «вербальность – образность» – связано с предпочтительным способом представления и кодирования информации: через словесные описания, символы и текст (вербальный стиль) или через визуальные образы, графики и пространственные модели (образный стиль). Вербальные учащиеся эффективнее работают с абстрактными понятиями, выраженными в формулах, определениях и логических последовательностях, тогда как образные предпочитают ментальные картинки, диаграммы и визуальные метафоры, которые помогают конкретизировать абстракции [2].

Два измерения ортогональны, то есть независимы друг от друга, и индивид может комбинировать черты из разных полюсов. Это приводит к четырем основным комбинациям стилей: целостно-вербальный, целостно-образный, аналитично-вербальный и аналитично-образный. Например, целостно-образный может предпочитать обзорные визуальные карты, в то время как целостно-образный – детальный текстовый анализ. Некоторые индивиды занимают промежуточную позицию, проявляя гибкость.

Значительное распространение в образовательной практике получила модель стилей обучения, разработанная Ричардом Фелдером и Линдой Сильверман. Она выделяет несколько пар когнитивных предпочтений: визуальный и вербальный стиль, сенсорный и интуитивный, активный и рефлексивный, последовательный и глобальный. Эти измерения так же являются ортогональными.

Измерение «Визуальное – Вербальное». Оно касается предпочтительных каналов ввода информации. Визуальные обучающиеся оптимально усваивают материал через зрительные стимулы: графики, диаграммы, схемы, пространственные модели и видео, что облегчает формирование ментальных образов абстрактных понятий. Вербальные обучающиеся предпочитают лингвистические формы: текстовые описания, устные объяснения, формулы и нарративы, что делает их сильными в чтении доказательств и обсуждениях.

Измерение «Сенсорное – Интуитивное». Сенсорный и интуитивный стили фокусируются на восприятии информации. Сенсорные обучающиеся ориентированы на конкретные, эмпирические данные: они предпочитают факты, практические примеры, экспериментальные данные и пошаговые процедуры, что делает их сильными в решении стандартных задач, но слабыми в абстрактных теориях. Интуитивные обучающиеся, напротив, фокусируются на абстрактных концепциях, теориях и инновациях: они наслаждаются открытием связей, гипотезами и творческим мышлением, но могут игнорировать детали, приводя к ошибкам в рутинных расчетах.

Измерение «Активное – Рефлексивное». Это измерение фокусируется на способах переработки новой информации. Активные обучающиеся предпочитают внешнюю обработку: они лучше усваивают материал через практические действия, обсуждения в группах, эксперименты или применение концепций на практике. Такие индивиды мотивированы социальным взаимодействием и часто преуспевают в кооперативном обучении, но могут испытывать трудности с пассивным восприятием (например, в лекционных форматах). Напротив, рефлексивные обучающиеся ориентированы на внутреннюю обработку: они предпочитают размышления в одиночестве, анализ идей перед их применением, что позволяет глубже интегрировать знания, но может замедлить процесс в динамичных ситуациях.

Измерение «Последовательное – Глобальное». Последнее измерение отражает стратегии структурирования знаний. Последовательные обучающиеся предпочитают линейный, пошаговый подход: они строят понимание через последовательные этапы, логические цепочки и детальный анализ, что идеально для алгоритмических задач, но может затруднять видение общей картины. Глобальные обучающиеся ориентированы на целостном восприятие: они стремятся сначала осмыслить общую структуру, связи и контекст, после чего заполняют детали, что способствует креативным выводам, но может привести к фрустрации в строго последовательных курсах [3].

Модель учебных стилей Р. Фелдера и Л. Сильверман представляет собой многомерную систему, описывающую различные способы восприятия, обработки и структурирования учебной информации. Рассматриваемые в рамках данной модели измерения позволяют более детально анализировать индивидуальные особенности когнитивной переработки информации учащимися.

Важным преимуществом данной модели является её гибкость. Каждый учащийся может проявлять разные стратегии восприятия информации в зависимости от содержания учебного материала и образовательной среды. Тем не менее у большинства обучающихся формируются устойчивые предпочтения, которые оказывают заметное влияние на эффективность усвоения знаний.

Особенно выраженными различия когнитивных стилей становятся в период перехода от школьного обучения к университетскому. Старшеклассники и студенты первых курсов находятся на этапе формирования абстрактного мышления, однако уровень развития этих навыков может существенно различаться.

В школьной математике преобладают алгоритмические задачи и конкретные примеры, тогда как университетские дисциплины, такие как математический анализ, требуют более высокого уровня абстракции и способности оперировать формальными символическими системами. Например, в математическом анализе такие понятия, как предел функции, бесконечно малая величина или интеграл, требуют формирования сложных ментальных моделей. Если преподавание ограничивается только формальными определениями и символическими преобразованиями, значительная часть учащихся испытывает трудности в формировании интуитивного понимания этих понятий.

В этом контексте важную роль начинает играть дизайн-подход к визуализации учебного материала. Под дизайн-визуализацией понимается целенаправленное проектирование графических и визуальных средств представления информации с учётом особенностей восприятия пользователя. В образовательной среде такой подход предполагает использование схем, инфографики, концептуальных карт, динамических графиков и других визуальных моделей, которые помогают учащимся формировать представления о структуре математических понятий.

Применение дизайн-визуализации позволяет адаптировать объяснение абстрактных концепций к различным когнитивным стилям. Для визуально ориентированных учащихся эффективны графические представления функций, геометрические интерпретации производной и интеграла, а также схемы взаимосвязей между математическими понятиями. Для учащихся с аналитическим стилем мышления полезны структурированные схемы доказательств и алгоритмов решения задач. Для глобальных учащихся важны визуальные модели, демонстрирующие общую структуру математической теории, тогда как последовательным учащимся помогают пошаговые графические объяснения процессов.

Особую роль дизайн-визуализация играет при изучении ключевых тем математического анализа. Например, понятие предела функции может быть представлено не только формальным ε–δ-определением, но и через графические модели приближения значений функции к определённой точке. Производная может визуализироваться как изменение наклона касательной к графику функции, а интеграл – как накопление площади под графиком.

Такие визуальные интерпретации позволяют связать абстрактные символические выражения с наглядными представлениями.

Таким образом, учет когнитивных стилей учащихся становится важным методологическим принципом при разработке образовательных материалов по математике. Использование дизайн-подхода к визуализации позволяет повысить доступность абстрактных математических концепций и снизить когнитивную нагрузку на учащихся, особенно на этапе перехода от школьного к университетскому уровню обучения.

Применение дизайн-подхода позволяет трансформировать «сухие» формальные определения в адаптивные визуальные модели. Использование графических интерпретаций, таких как изменение наклона касательной для визуализации производной или накопление площади для объяснения интеграла, помогает связать символические выражения с наглядными образами. Это не только снижает когнитивную нагрузку в период адаптации к вузовской программе, но и открывает перспективы для создания гибких цифровых образовательных инструментов, способных подстраиваться под уникальный профиль восприятия каждого обучающегося. Развитие методов дизайн-визуализации открывает перспективы для создания более гибких образовательных инструментов, способных учитывать индивидуальные особенности восприятия информации и повышать эффективность обучения сложным математическим дисциплинам.

Заключение. Проведенный анализ подтверждает, что учет индивидуальных когнитивных стилей является критически важным методологическим принципом при проектировании образовательной среды для старшеклассников и студентов. Дихотомии «целостность – аналитичность», «вербальность – образность» и «поле-зависимость – поле-независимость» определяют то, насколько успешно учащийся сможет сформировать ментальную модель абстрактного понятия.

Список литературы

1. *Холодная, М. А. Когнитивные стили. О природе индивидуального ума / М. А. Холодная. [Москва]: [Прогресс], [2002]. (Уточните город, издательство и год для вашего издания).*

2. *Riding, R. Cognitive Styles and Learning Strategies: Understanding Style Differences in Learning and Behaviour / R. Riding, S. Rayner. [London]: David Fulton Publishers, 1998.*

3. *Felder, R. M. Learning Styles and Strategies / R. M. Felder, B. A. Soloman. [Электронный ресурс]. North Carolina State University, 1993. Режим доступа: https://engr.ncsu.edu/wp-content/uploads/drive/1WPAfj3j5o5OuJMiHorJ-lv6fON1C8kCN/styles.pdf. Дата доступа: 07.03.2026.*

4. *Березина П. С. Сравнительный анализ когнитивных и учебных стилей и их реализации в обучении // Вопросы методики преподавания в вузе. 2023. Т. 12. № 2. С. 114-122. DOI: 10.57769/2227-8591.12.2.08*

UDC 37.091.3

COGNITIVE STYLES OF STUDENTS AND THEIR ACCOUNTING IN THE DESIGN-VISUALIZATION OF ANNOTATION MATHEMATICAL CONCEPTS

Sys E.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Gil S.V. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ECG

Annotation. The article discusses the problem of taking into account students' cognitive styles when studying Annotation mathematical concepts. The approaches of G. Vitkin, R. Riding, R. Felder, and L. Silverman are analyzed. The necessity of using design visualization as a means of adapting educational material to individual perception features is substantiated. It is shown that visual models help to reduce cognitive load and form intuitive understanding of complex concepts of mathematical analysis.

Keywords: cognitive styles, learning styles, design visualization, mathematical analysis, visualization in learning, Annotation concepts

УДК 004.932.4

АЛГОРИТМ ПРЕДОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ СЛАБОТЕКСТУРИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Платонова В.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Гиль С.В. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ИКГ

Аннотация. В статье рассматриваются проблемы фотограмметрической реконструкции объектов с гомогенными и слабо текстурированными поверхностями. Отмечается, что недостаточная информативность изображений приводит к снижению точности сопоставления характерных точек и ухудшению качества построения трёхмерных моделей. Выполнен анализ научных работ, посвящённых применению методов предобработки изображений для повышения эффективности фотограмметрических алгоритмов. Обоснована необходимость разработки алгоритма предобработки изображений, направленного на улучшение контрастных характеристик и повышение информативности исходных данных.

Ключевые слова: фотограмметрия, компьютерная графика, трёхмерная реконструкция, обработка изображений, археологические объекты

Введение. Современные методы цифровой фотограмметрии активно применяются для создания трёхмерных моделей объектов культурного наследия и археологических артефактов. Использование фотограмметрических технологий позволяет получать высокоточные цифровые копии объектов без физического воздействия на них, что особенно важно при работе с уникальными и хрупкими историческими объектами [1].

Фотограмметрическая реконструкция основана на анализе набора изображений, полученных с различных точек съемки, и последующем вычислении пространственного положения характерных точек объекта [2]. Однако эффективность таких методов во многом зависит от качества исходных изображений и наличия выраженной текстуры поверхности. Одной из существенных проблем фотограмметрии является реконструкция объектов, имеющих гомогенные или слабо текстурированные поверхности. К таким объектам относятся каменные, керамические или металлические археологические артефакты, поверхность которых не содержит достаточного количества контрастных элементов [3]. В подобных условиях алгоритмы поиска и сопоставления ключевых точек работают менее эффективно, что приводит к уменьшению точности реконструкции и появлению ошибок при построении трёхмерной модели.

Основная часть. В научной литературе отмечается, что одним из способов повышения точности фотограмметрической обработки является применение методов предварительной обработки изображений. Предобработка может включать повышение контрастности, подавление шумов, коррекцию освещённости и другие операции, направленные на увеличение информативности изображений [4]. По данным ряда исследований, улучшение визуальных характеристик изображений позволяет повысить устойчивость алгоритмов обнаружения характерных точек и увеличить количество корректных соответствий между изображениями [5]. Это, в свою очередь, положительно влияет на точность построения пространственной модели объекта. Обобщённая схема процесса фотограмметрической реконструкции с учётом этапа предварительной обработки изображений представлена на рисунке 1.

Особое значение методы предобработки имеют при документировании археологических объектов. Цифровая фиксация состояния артефактов позволяет сохранять их геометрические характеристики, проводить последующий анализ и использовать полученные модели в научных исследованиях и музейной практике [6].

Несмотря на существующие исследования в данной области, проблема повышения эффективности фотограмметрической реконструкции для объектов со слабо выраженной текстурой остаётся актуальной. В настоящее время отсутствуют универсальные подходы, позволяющие обеспечить стабильную работу фотограмметрических алгоритмов [7].



Рисунок 1 – Общая схема фотограмметрической реконструкции с использованием предобработки изображений

В связи с этим возникает необходимость разработки специализированного алгоритма предобработки изображений, который позволит повысить информативность исходных данных и улучшить качество фотограмметрической реконструкции. Обобщённая схема предлагаемого алгоритма предобработки изображений представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Схема алгоритма предобработки изображений для повышения эффективности фотограмметрической реконструкции

Дальнейшее повышение эффективности фотограмметрической обработки может быть достигнуто за счёт применения специализированных алгоритмов предварительной обработки изображений. Предлагаемый алгоритм ориентирован на анализ визуальных характеристик изображений и их последующую коррекцию с целью повышения информативности исходных данных. На начальном этапе выполняется анализ основных характеристик изображения, включая распределение яркости, уровень контрастности и выраженность текстурных элементов. Проведение такого анализа позволяет определить степень пригодности исходных изображений для последующей фотограмметрической обработки и выявить возможные проблемы, связанные с недостаточной выраженностью локальных признаков [4].

В случае выявления низкой информативности изображений осуществляется этап предварительной обработки, направленный на улучшение их визуальных характеристик. Основная задача данного этапа: повышение различимости локальных структур изображения, что способствует более устойчивому обнаружению характерных точек и повышению точности их сопоставления между различными ракурсами съёмки [5]. Этап включает комплекс операций, обеспечивающих повышение качества исходных изображений и улучшение условий для последующего обнаружения характерных точек. Прежде всего выполняется коррекция яркостных характеристик изображения, направленная на выравнивание распределения яркости и повышения различимости элементов сцены. Это позволяет уменьшить влияние неравномерного освещения, которое возникает при съёмке археологических объектов в полевых условиях.

Следующим этапом является повышение контрастности изображения, что способствует более чёткому выделению границ и локальных особенностей поверхности. Улучшение контрастности повышает различимость мелких деталей и способствует увеличению количества потенциальных характерных точек. Кроме того, на этапе предварительной обработки может выполняться подавление шумов и устранение мелких искажений изображения. Наличие шумов и артефактов может негативно влиять на работу алгоритмов обнаружения и сопоставления признаков, поэтому их снижение является важным условием повышения устойчивости фотограмметрической обработки. Дополнительно может осуществляться коррекция освещённости изображения, позволяющая повысить выраженность текстурных элементов поверхности. Это особенно важно при работе с гомогенными и слабо текстурированными поверхностями, для которых характерно слабое различие между соседними областями изображения. В результате выполнения указанных операций повышается информативность исходных данных, что способствует более устойчивому обнаружению характерных точек и повышает эффективность последующей фотограмметрической реконструкции.

После выполнения этапа предобработки проводится повторная оценка характеристик изображений. Если полученные параметры удовлетворяют требованиям фотограмметрической обработки, изображения предаются в систему реконструкции для последующего построения пространственной модели объекта. В противном случае может выполняться дополнительная корректировка параметров обработки, что позволяет адаптировать алгоритм к особенностям исходных данных. Предложенный подход обеспечивает гибкость обработки и позволяет учитывать специфику изображений объектов со слабо выраженной текстурой. Это особенно важно при документировании археологических артефактов, поверхность которых зачастую характеризуется однородной структурой и недостаточным количеством выраженных визуальных признаков [6]. Повышение информативности изображения на этапе предобработки способствует увеличению количества обнаруживаемых характерных точек и, как следствие, повышению устойчивости фотограмметрической реконструкции.

Заключение. Анализ научной литературы показал, что точность фотограмметрической реконструкции существенно зависит от качества исходных данных изображений и текстурных характеристик поверхности объекта. Для объектов с гомогенными и слабо текстурированными поверхностями эффективность традиционных методов снижается, что требует применения дополнительных методов обработки изображений. Разработка алгоритма предобработки изображений, направленного на повышение контрастности и информативности данных, является перспективным направлением исследований и может способствовать улучшению качества трёхмерной реконструкции археологических объектов.

Список литературы

1. Лобанов, А. Н. Фотограмметрия. – М.: Недра, 2015.

2. Селиверстов, А. В. Основы цифровой фотограмметрии. – М.: МИИГАиК, 2018.

3. Кузнецов, А. Г. Применение фотограмметрии при документировании археологических объектов // Геодезия и картография. – 2020. – №4. – С. 45-51.

4. Гонсалес, Р., Вудс, Р. Цифровая обработка изображений / пер. с англ. – М.: Техносфера, 2019.

5. Чернявский, И. А. Методы повышения качества изображений для задач компьютерного зрения // Компьютерная оптика. – 2021. – Т.45, №3. – С. 412-420

6. Бобров, А. В. Применение 3D-моделирования в археологических исследованиях // Археология Евразийских степей. – 2019. – №2. – С. 112-118.

7. Сорокин, С. В. Алгоритмы выделения характерных точек в задачах компьютерного зрения // Программные системы и вычислительные методы. – 2022. – №1. – С. 37-44.

UDC 004.932.4

IMAGE PREPROCESSING LAGORITHM TO INCREASE THE EFFICIENCY OF PHOTOGRAMMETRIC RECONSTRUCTION OF LOW-TEXTURED SURFACES

Platonava V.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Gil S.V. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ECG

Annotation. this article examines the challenges of photogrammetric reconstruction of objects with homogeneous and poorly textured surfaces. It is noted that insufficient image information leads to reduced accuracy of feature point matching and deterioration in the quality of 3D model construction. An analysis of scientific papers devoted to the use of image preprocessing methods to improve the efficiency of photogrammetric algorithms is provided. The need to develop an image preprocessing algorithm aimed at improving contrast characteristics and increasing the information content of the source data is substantiated.

Keywords: photogrammetry, computer graphics, 3D reconstruction, image processing, archaeological objects

УДК 004.02

СРАВНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ И АНИМАЦИИ

Подворный В.М., Блажевич Е.И.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Гиль С.В. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ИКГ

Аннотация. Экспериментально исследованы различия ПО для создания, текстурирования и анимации 3D-моделей. Установлено, что Autodesk Inventor лучше справляется с задачами точной проектировки, где важны размеры, в то время как Blender 3D хуже в точном проектировании, но оптимальнее в более свободных задачах, например, для создания 3D-моделей в анимации, для видеоигр, в скульптинге.

Ключевые слова: 3D-моделирование, анимация, сравнительный анализ, текстурирование

Введение. 3D-моделирование является одной из ключевых технологий в современной цифровой индустрии. Программное обеспечение для создания трёхмерных моделей активно применяется в таких областях, как машиностроение, архитектура, разработка видеоигр, анимация и промышленное проектирование [1]. В статье проводится сравнительный анализ двух популярных программных продуктов – Blender 3D и Autodesk Inventor с целью определения их преимуществ и недостатков при решении задач трёхмерного моделирования и наглядной визуализации.

Основная часть. Анализ различий в программном обеспечении проанализируем на примере создания деревянного рубанка. Модель достаточная для этой задачи, так как состоит из 5-ти деталей и включает в себя 2 материала. Создание рубанка произведём по одному референсу, чертежу (рисунок 1).

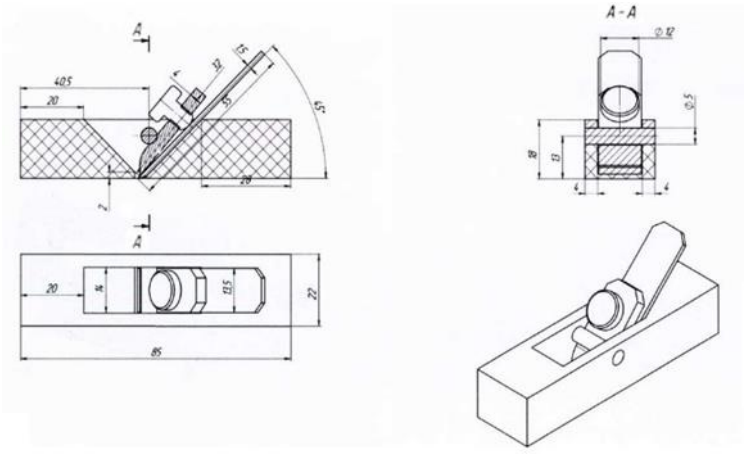


Рисунок 1 – Сборочный чертёж рубанка

Чтобы оценить эффективность процессов моделирования и анимации в рассматриваемых ПО более точно, разобьём задачу практической реализации на 6 чётких частей (профессиональный пайплайн создания 3D-модели отличается от предлагаемого, он является исключительно демонстративным). Также в процессе моделирования возможны некоторые упрощения деталей, не влияющие на качество демонстрации функционала программ.

1 Создание деревянной основы рубанка (колодки).
2 Создание лезвия рубанка (ножа).
3 Создание клина и болта.
4 Создание перегородки для клина (выполняет роль щёк в рубанке).
5 Текстурирование всех деталей.
6 Анимация «взрывного вида».

Для выполнения первого этапа в Blender 3D использовались инструменты создания объекта (Add), изменение размеров (Dimensions), выдавливание объекта другим (Boolean). В конце первого этапа выполнялись измерения (Measure) для проверки построений. Как видно из рисунка 2, в Blender 3D сложно получить точные результаты в размерах фигуры, так как это ПО ориентировано для решения других задач [2].

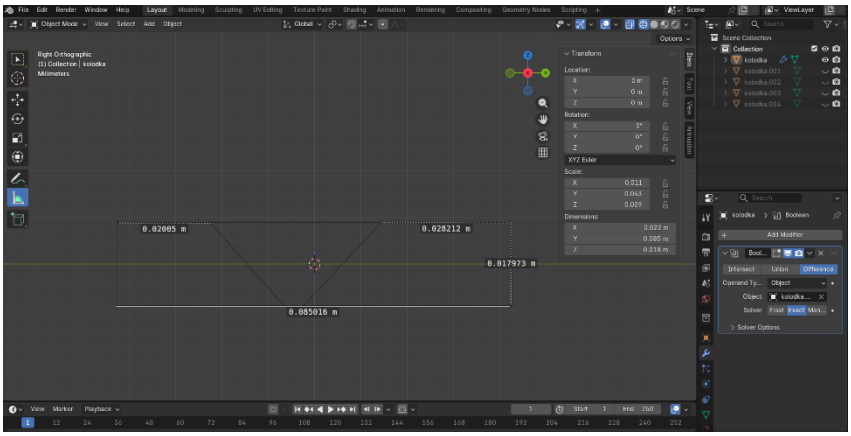


Рисунок 2 – 3D-модель деревянной основы рубанка

Для выполнения первого этапа в Autodesk Inventor (Рисунок 3) использовались команды создания эскиза замкнутого контура: отрезок, окружность, прямоугольник и в дальнейшем команда выдавливание. В Autodesk Inventor можно получить точные результаты в размерах фигуры, так как это более инженерно-ориентированное ПО.

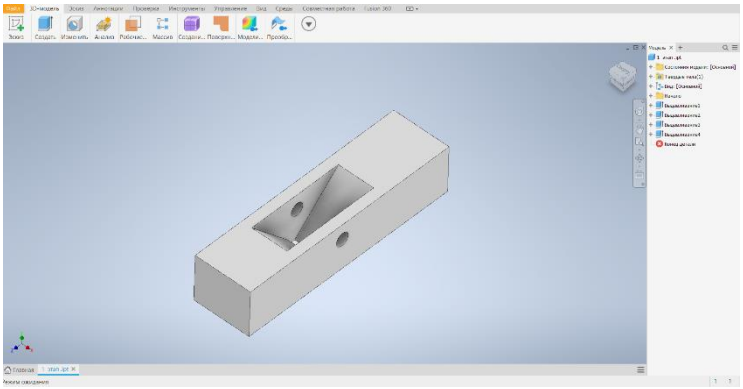


Рисунок 3 – 3D-модель деревянной основы рубанка

Для выполнения второго этапа в Blender 3D использовались инструменты создания объекта (Add), изменение размеров (Dimensions), передвижение конкретных рёбер в режиме редактирования (Edit mode). При симметрии объекта можно выполнить только половину его и использовать модификатор отзеркаливания (Mirror) [3]. Это считается оптимальным вариантом, так как требует меньше действий и даёт идеальную симметрию. На втором этапе в Autodesk Inventor использовались команды: отрезок, выдавливание и зеркальное отображение.

Для создания клина на третьем этапе в Blender 3D использовались все те же элементы, которые были задействованы ранее при реализации второго этапа, это легко объяснимо подобием фигур, но для создания болта необходимо было добавить фигуру цилиндра (Cyclinder) и вытягивать (Extend) её в режиме редактирования. В Autodesk Inventor на третьем этапе использовались команды: отрезок, окружность, фаски, вращение и выдавливание.

Четвёртый этап в Blender 3D аналогичен третьему, добавляется цилиндр и приводится к заданным размерам. В Autodesk Inventor на четвёртом этапе использовались команды окружность и выдавливание.

Текстурирование всех деталей сборочного узла – пятый этап. Для создания процедурных текстур в Blender 3D использована вкладка Shading и редактор «узлов текстур» (Nodes). На скриншотах (рисунок 4) можно увидеть, как выглядят коды для материалов дерева и металла.

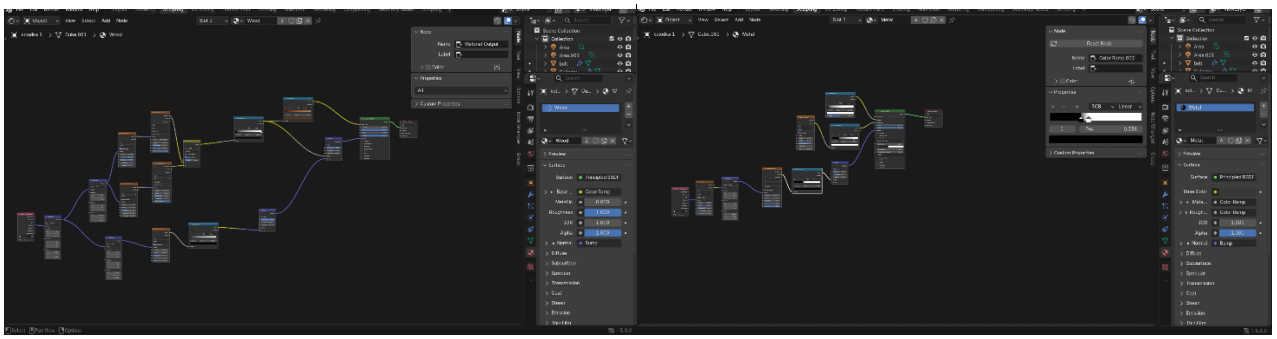


Рисунок 4 – Скриншоты с кодами материалов соответственно дерева и металла в Blender 3D

Присвоение материала и текстуры в Autodesk Inventor осуществлялось на основе редактора текстур. В данном ПО отсутствуют реалистичные текстуры и представлен минимальный объём визуального оформления.

Анимация – шестой этап. В Blender 3D для создания анимации используется распространённая концепция ключевых точек (Keyframes), а также необходимо применять окно временной полосы (Timeline). Объект выставляем в заданную позицию на нужном кадре и нажимаем ПКМ на координаты детали и выбираем опцию Insert Keyframe. Аналогичные действия выполняем со всеми перемещающимися объектами, затем рендерим покадрово созданную анимацию, соединяем все кадры в одно видео во встроенном видеоредакторе Blender 3D.

В Autodesk Inventor для создания анимации использовались: инструмент сдвига 3D-компонентов сборочного узла и покадровый план. Для простоты создания анимации настройку осуществляем таким образом, чтобы анимация проигрывается линейно [4].

Заключение. Выполнен сравнительный анализ программного обеспечения Blender 3D и Autodesk Inventor на примере создания 3D-модели деревянного рубанка. Установлено, что Autodesk Inventor обеспечивает высокую точность размеров и лучше подходит для инженерного проектирования, тогда как Blender 3D предоставляет широкие возможности для работы с текстурами, свободного моделирования и создания анимации. Продемонстрировано практически, что выбор инструмента 3D-моделирования определяется характером поставленных задач: для точного инженерного проектирования предпочтительнее Autodesk Inventor, а для художественного моделирования, анимации и визуализации – Blender 3D. Результаты могут быть использованы при выборе ПО в учебном процессе и на производстве.

Список литературы

1. Vaughan, W. Digital Modeling / William Vaughan. – New Riders, 2012. – 432 p. – ISBN 978-0-321-70055-4.
2. Flavell, L. Beginning Blender: Open Source 3D Modeling, Animation, and Game Design / Lance Flavell. – Apress, 2010. – 291 p.
3. Blender Documentation / Blender Foundation. – [Electronic resource]. – URL: https://docs.blender.org.
4. ъ Колосов, М.Ю. Моделирование в среде Autodesk Inventor / М.Ю. Колосов. – Москва: ДМК Пресс, 2015. – 320 с.

UDC 004.02

COMPARISON OF SOFTWARE FOR 3D-MODELING AND ANIMATION

Podvorny V.M., Blazhevich Y.I.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Gil S.V. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ECG

Annotation. Differences in software for creating, texturing, and animating 3D-models were experimentally investigated. It was established that Autodesk Inventor performs better in tasks requiring precise dimensions and engineering accuracy, while Blender 3D excels in free-form modeling, creating models for animation, video games, and sculpting.

Keywords: 3D modeling, animation, comparative analysis, texturing

УДК 371.3 /004.9

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ТРЁХМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

Прокопчик К.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Кучура О.Н. – ст. преподаватель кафедры ИКГ

Аннотация. Проведено исследование возможностей использования инструментов искусственного интеллекта для визуализации 3D-объектов при обучении студентов инженерной графике. Анализировались системы *Gemini*, *ChatGPT*, *Copilot*, *Kimi*, *TRIPO 3D* и *Zoo*. Установлено, что наличие визуального референса повышает точность генерации на 20–30%, специализированные *CAD*-ориентированные системы дают наилучшие результаты.

Ключевые слова: искусственный интеллект, инженерная графика, *3D*-визуализация, образовательные технологии, геометрическое моделирование, нейросетевые генераторы

Введение. Актуальность развития методов визуализации трёхмерных объектов в образовательном процессе обусловлена необходимостью повышения наглядности при обучении студентов инженерной графике. Традиционные методы построения проекций сложных геометрических композиций требуют значительных временных затрат, что затрудняет восприятие пространственных отношений [1].

Современные генеративные модели ИИ открывают возможность оперативного получения визуальных репрезентаций по текстовым описаниям или референсным изображениям. Однако для педагогического применения критически важна геометрическая достоверность результатов [2].

Цель исследования – оценка возможностей ИИ-инструментов для создания наглядных пособий при обучении построению пересечений поверхностей и сравнительный анализ эффективности различных форматов запросов.

Основная часть. В качестве эталонной модели была создана композиция в системе *Autodesk AutoCAD 2024*, выбранная из типичных задач курса «Основы компьютерной графики», требующая понимания взаимного пересечения поверхностей второго порядка [3].

В качестве визуального референса использовался чертеж из методички (рисунок 1).

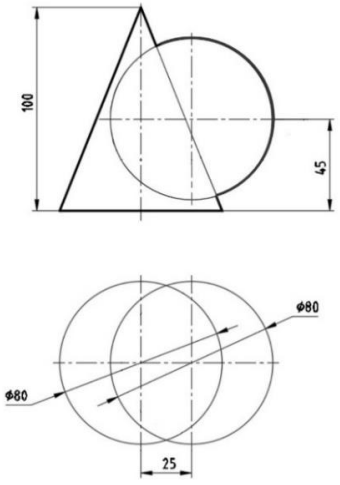


Рисунок 1 – Чертеж из методички, использованный в качестве референса

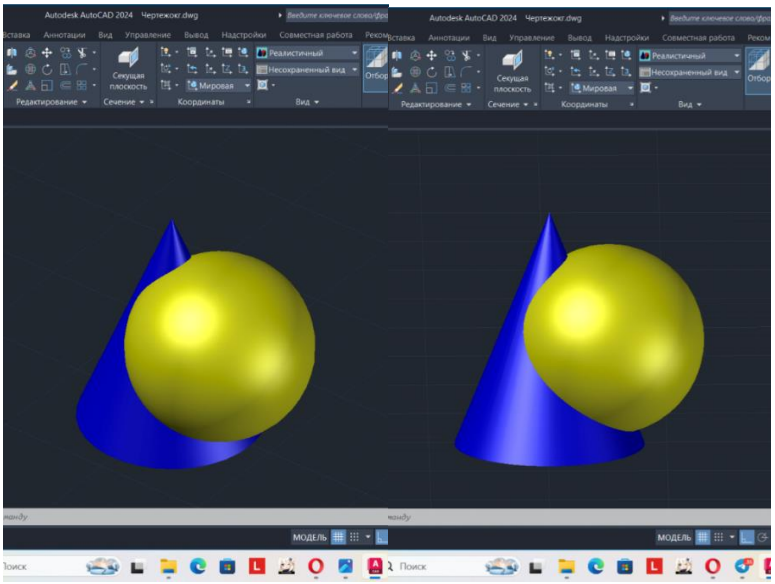


Рисунок 2 – Эталонная модель в AutoCAD 2024, использованная для сравнения

Исследовались следующие системы с различными режимами запросов:

– *Gemini* – в двух режимах: чисто текстовый запрос; референсное чертёж без текстового описания;

– *Kimi* – в двух режимах: чисто текстовый запрос; чертёж без текстового описания;

– *ChatGPT* (*DALL-E*) – комбинированный запрос (текстовое описание и чертеж);

– *Microsoft Copilot* – комбинированный запрос (текстовое описание и чертеж);

– *TRIPO 3D* – комбинированный запрос (текстовое описание и чертеж);

– *Zoo* (*KittyCAD*) – комбинированный запрос (текстовое описание и чертеж).

Оценка проводилась по шести критериям: пропорции конуса, размер сферы относительно конуса, горизонтальное смещение сферы, вертикальное расположение сферы, корректность линии пересечения поверхностей, глубина врезания сферы в конус.

Анализ результатов генерации выявил существенные различия в зависимости от формата запроса и специализации системы (таблица 1).

Таблица 1 – Сравнительная оценка точности ИИ-систем

Система	**Формат запроса**	**Общая точность, %**	**Ключевые отклонения**
AutoCAD 2024	–	100	–
Zoo (*KittyCAD*)	текстовой запрос	90	цветовая схема
Kimi	чертёж	88–92	видимая полигональная сетка
Gemini	чертёж	75–80	завышенная высота центра сферы
ChatGPT (*DALL-E*)	комбинированный	75	уменьшенный размер сферы, отсутствие врезки
TRIPO 3D	комбинированный	70	искажённые пропорции конуса и шара
Copilot	комбинированный	55–60	нарушены все размерные параметры
Gemini	текст	55–65	отсутствие пересечения поверхностей
Kimi	текст	65	заниженное расположение сферы

Наиболее точные результаты показали системы с визуальным референсом и специализированные *CAD*-инструменты. Комбинированные запросы не обеспечивают преимуществ перед чисто визуальным референсом.

При использовании текстового запроса системы демонстрировали неспособность передать геометрию пересечения: сфера изображалась лежащей на поверхности, а не врезанной в конус. При предоставлении чертежа точность возрастает на 20–30%.

Сравнение результатов *Gemini* и *Kimi* в двух режимах демонстрирует критическую важность визуальной составляющей. При текстовом запросе обе системы показали

неспособность передать геометрию пересечения: сфера изображалась лежащей на поверхности конуса, пропорции искажались. При предоставлении чертежа точность возрастает на 20–30% – системы корректно интерпретируют пространственные пропорции, относительные размеры и характер взаимодействия поверхностей (рисунок 2).

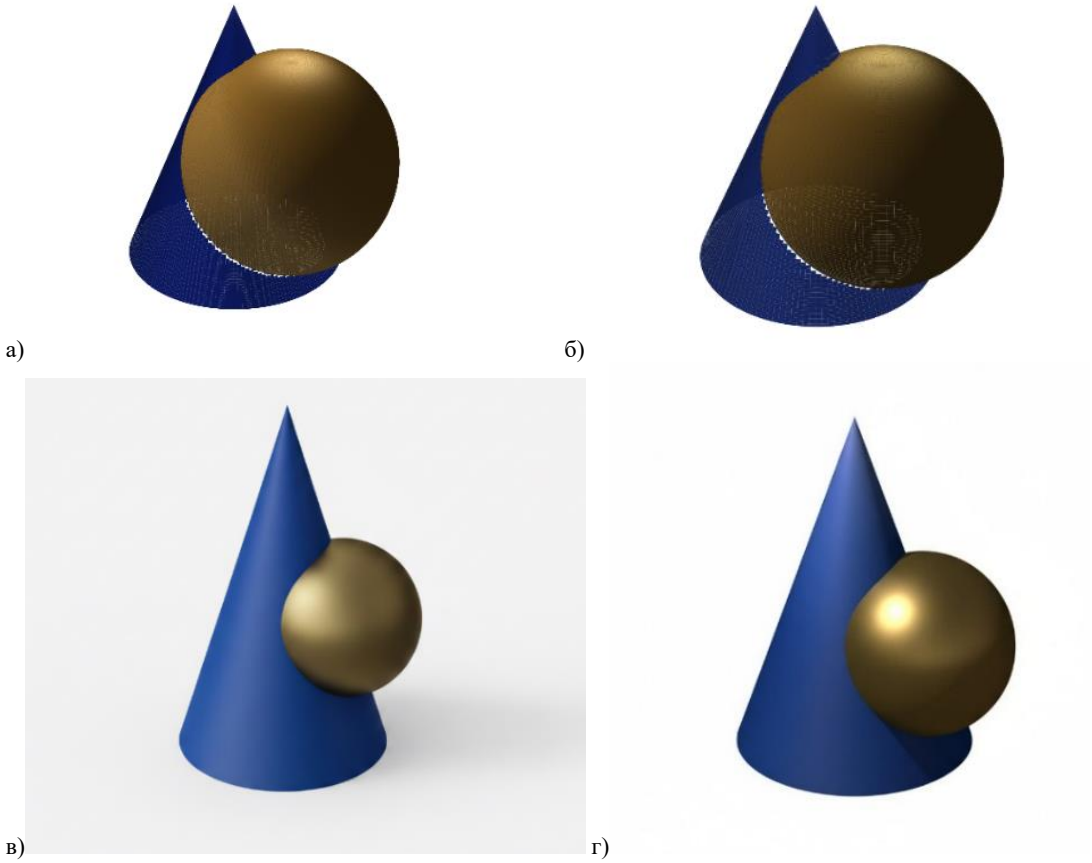
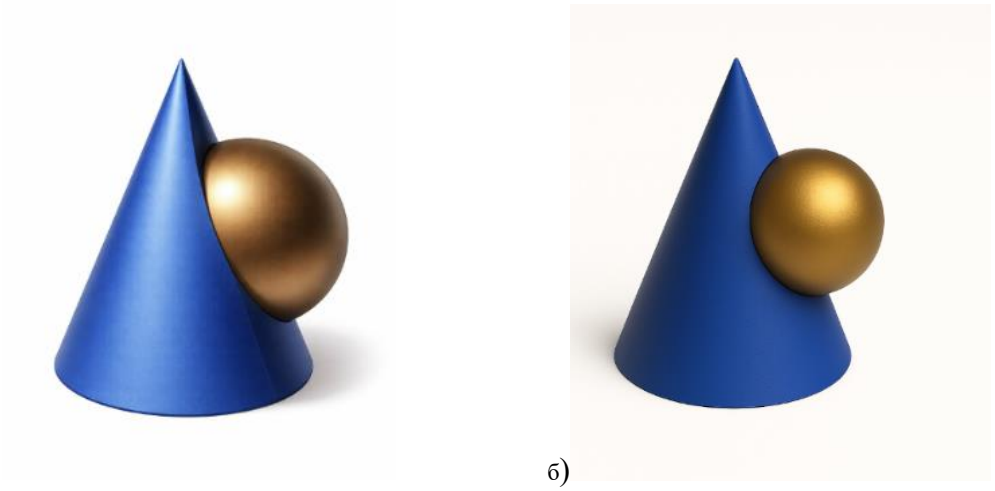


Рисунок 3 – Результаты генерации *Kimi*: (а) – по текстовому запросу, (б) – по чертежу, *Gemini*: (в) – по текстовому запросу, (г) – по чертежу

Системы с комбинированными запросами (*ChatGPT*, *Copilot*, *TRIPO 3D*) показывают средние результаты. Наличие текстового описания наряду с изображением не улучшает, а в ряде случаев ухудшает интерпретацию геометрии из-за конфликта между абстрактным описанием и конкретной геометрией чертежа (рисунок 4).



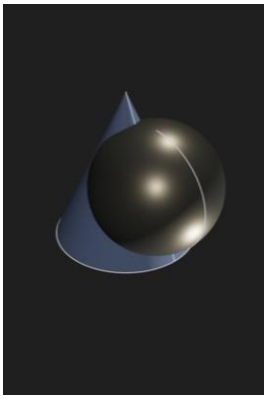
в)  г) 

Рисунок 4 – Результаты систем с комбинированными запросами: (а) – *ChatGPT*, (б) – *Copilot*, (в) – *TRIPO 3D, (г) – Zoo* (*KittyCAD*)

Заключение. Установлено, что ИИ-инструменты при правильном выборе формата запроса обеспечивают достаточную для педагогических целей точность. Максимальная точность (88–92%) достижима при использовании визуального референса без текстового описания. Специализированные *CAD*-системы демонстрируют высокую точность (90%) независимо от формата запроса.

Практическая значимость заключается в возможности оперативного создания наглядных пособий для обучения построению пересечений поверхностей.

Список литературы

1. Королев, Д.А. Основы компьютерной графики : учебное пособие / Д.А. Королев. – СПб. : Лань, 2026. – 212 с.

2. Лазарев, С.И. Основы компьютерной графики : учебник / С.И. Лазарев, С.А. Вязовов, С.В. Ковалев [и др.]. – Тамбов : Тамбовский государственный технический университет, 2019. – 83 с.

3. Омелькович, Е. В. Основы компьютерной графики. Лабораторный практикум : учеб.-метод. пособие / Е. В. Омелькович, Т. А. Марамыгина, О. Н. Кучура, С. В. Гиль. – Минск : БГУИР, 2025. – 146 с. : ил. – ISBN 978-985-543-781-0.

UDC 371.3 /004.9

OPPORTUNITIES FOR USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR 3D-OBJECT VISUALIZATION IN THE EDUCATIONAL PROCESS

Prokopchik K.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Kuchura O.N. – Senior Lecturer at the Department of ECG

Annotation. The study examines the capabilities of modern artificial intelligence tools for 3D object visualization to enhance the clarity of engineering graphics education. Systems Gemini, ChatGPT, Copilot, Kimi, TRIPO 3D and Zoo were analyzed when reproducing a parametric 3D composition. It was found that visual reference increases generation accuracy by 20–30%, while specialized CAD-oriented systems show the best results.

Keywords: artificial intelligence, engineering graphics, 3D visualization, educational technologies, geometric modeling

УДК 004.81

ПРОЕКТ: МОДЕЛИРОВАНИЕ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СБОРКИ УЗЛА ИЗДЕЛИЯ В 3DS MAX

Филипова А. Д.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Омелькович Е. В. – магистр педагогических наук, ст. преподаватель кафедры ИКГ

Аннотация. Разработана трёхмерная модель узла двигателя внутреннего сгорания (ДВС) и анимация его работы в среде Autodesc 3Ds Max. Актуальность данного проекта обусловлена недостатком наглядной анимации принципа работы поршневой группы для изучения базового строения элементов двигателя. В условиях высокой стоимости анимированных 3D-моделей не каждое учреждение образования способно приобрести наглядные цифровые проекты. Проанализированы предложенные в открытом доступе файлы, собрана статистика запросов пользователей о недостатке материала для обучения. Визуализация работы системы ДВС на примере созданной модели способствует более детальному изучению его строения и принципа действия, что может существенно облегчить и ускорить процесс обучения.

Ключевые слова: 3Ds Max, 3D-моделирование, анимация, двигатель, визуализация, ДВС

Введение. В современном машиностроении и образовании как в учреждениях образования, так и в автошколах, существует потребность в наглядных средствах демонстрации работы механических узлов. Трёхмерная визуализация позволяет лучше понять принцип действия сложных механизмов в сравнении с традиционными методами. Чертежи и двухмерные схемы не передают динамику движения деталей, что затрудняет восприятие процесса работы узла, особенно для обучающихся, которые не встречались с работой реального объекта. Целью данной работы является создание трёхмерной модели узла двигателя и анимации процесса его работы в среде Autodesk 3Ds Max. Для выполнения цели поставлены задачи моделирования геометрии корпуса двигателя, а также поршней, создания анимации работы поршня без текстур и сложных световых элементов для простого восприятия модели. Такой подход помогает заинтересовать большее количество людей к изучению машиностроения.

Основная часть. Актуальность проекта заключается в возросшей надобности интерактивных и визуально насыщенных инструментов для обучения и понимания принципов работы автотранспорта. Традиционные методы обучения, такие как чертежи и статичные рисунки, часто не могут дать полного представления о пространственной структуре и взаимодействии сложных технических узлов. Изучение устройства двигателя внутреннего сгорания является обязательной частью программ автошкол и университетов, но при этом реальные модели слишком большие и дорогие, что не всегда доступно.

Разработка трехмерной модели и анимации процесса сборки узла ДВС позволяет решить эту проблему, предоставив студентам и учащимся возможность более детально и визуально изучить конструкцию, взаимодействие деталей и принцип работы механизма в виртуальной среде. Кроме того, использование современных цифровых технологий, таких как 3D-моделирование и анимация, делает процесс обучения более современным, увлекательным и эффективным по сравнению с классическими лекциями.

Для качественной реализации проекта были выполнены следующие задачи:

1 Аналитический обзор и разработка концепции: изучение устройства классического двигателя внутреннего сгорания, его составных частей и принципов работы; определение ключевых элементов для моделирования, таких как основной корпус и поршень; проектирование сценария анимации, который наглядно демонстрирует последовательность сборки узла и движение деталей при работе двигателя.

2 Техническая реализация 3D-модели и анимации: выбор инструментов для создания высокополигональных, детализированных моделей и последующей анимации.

3 Моделирование: для создания геометрически точных и реалистичных моделей поршня, корпуса и всех сопутствующих деталей была выбрана программа 3ds Max. Этот программный пакет обладает мощным инструментарием для полигонального моделирования и создания сложных технических форм.

4 Анимация: на основе созданного сценария в 3ds Max была разработана покадровая анимация, демонстрирующая процесс сборки узла и последующую симуляцию работы кривошипно-шатунного механизма.

5 Оценка эффективности применения: внедрение разработанной визуализации в учебный процесс и оценка её влияния на качество усвоения материала. Проведение опросов среди студентов и преподавателей для выявления изменений в уровне понимания конструкции ДВС, сложности восприятия информации и интересе к предмету.

На первом этапе работы над проектом были созданы основные модели проекта. На рисунках 1 и 2 представлены модели поршня и корпуса.

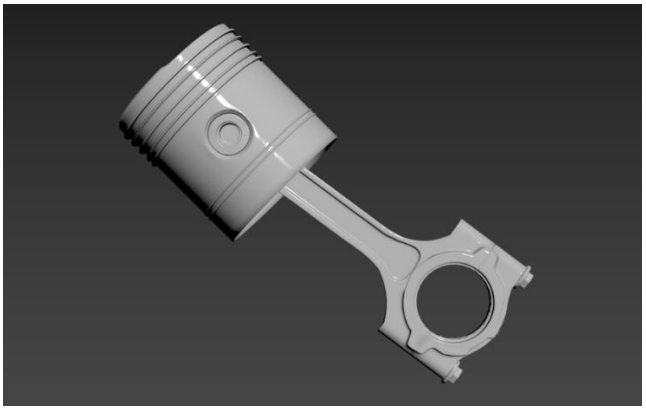


Рисунок 1 – Модель поршня

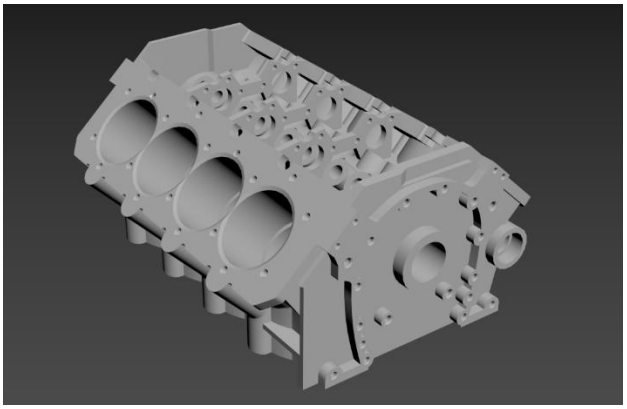


Рисунок 2 – Модель корпуса

После завершения моделирования всех компонентов был выполнен этап сборки сцены, после которого создавалась покадровая анимация. На рисунке 3 представлены ключевые кадры анимации одного поршня двигателя.

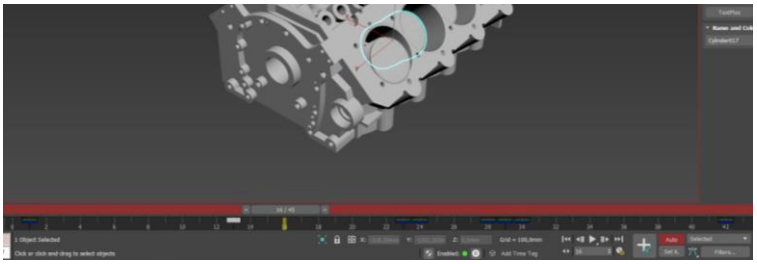


Рисунок 3 – Ключевые кадры анимации сборки

На рисунке 4 можно увидеть отдельные кадры анимации сборного узла (кадры №№ 3, 11, 24, 38), где представлены ключевые точки работы поршней в модели.

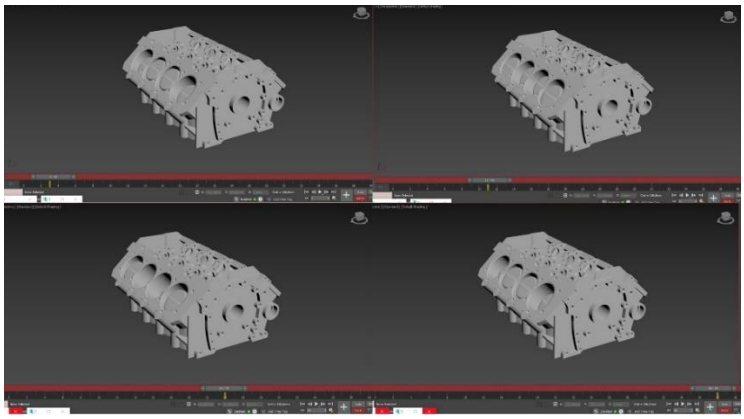


Рисунок 4 – Покадровая анимации

Анимация сборки узла была представлена потребителям. Результаты устного опроса подтвердили успешность проекта – работа получила положительные отзывы и высокие оценки.

Заключение. Проект успешно достиг своей основной цели – создание детализированной 3D-модели и анимации процесса сборки узла ДВС для использования в образовательных целях. В ходе работы были успешно применены современные инструменты трехмерной графики и анимации в среде 3ds Max.

Результатом проекта явился готовый учебный продукт, который может быть использован в автошколах, университетах и колледжах для изучения устройства автомобиля. Потенциальные преимущества внедрения данной разработки в учебный процесс:

1 Повышение наглядности процесса обучения.

2 Увеличение вовлеченности и интереса обучающихся.

3 Доступность и многократность использования электронного продукта.

Список литературы

1. Ложкина, А.Е. Проектирование в среде 3DS MAX : пособие / Е.А. Ложкина, В.С. Ложкин. – Новосибирск : НГТУ, 2019. – 180 с.

2. Виртуальная среда [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://learn.microsoft.com/ru-ru/windows/dev-home/environments/. – Дата доступа: 19.02.2026

UDC 004.81

PROJECT MODELING AND VISUALIZATION THE ASSEMBLY PROCESS OF THE PRODUCT ASSEMBLY IN 3DS MAX

Filipova A. D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Omelkovich E. V. – Master of Sci., Senior Lecturer at the Department of ECG

Annotation. A three-dimensional model of an internal combustion engine (ICE) assembly and an animation of its operation have been developed using Autodesk 3ds Max. The relevance of this project stems from the lack of illustrative animations demonstrating the operating principle of the piston group for educational purposes in studying the basic structure of engine components. Given the high cost of animated 3D models, not every educational institution can afford to acquire such visual digital projects. An analysis of publicly available files was conducted, and user request statistics were compiled, indicating a shortage of educational materials on this topic. The visualization of the ICE system's operation through the created model facilitates a more detailed study of its structure and working principle, which can significantly simplify and accelerate the learning process.

Keywords: 3Ds Max, 3D modeling, animation, engine, visualization

УДК 62:376.32

РАЗРАБОТКА АДАПТИВНЫХ ЧЕРТЕЖЕЙ ДЛЯ НЕЗРЯЧИХ ЛЮДЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ШРИФТА БРАЙЛЯ

Арцукевич А.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Зайцев И.А. – магистр, ст. преподаватель кафедры ИКГ

Аннотация. Освещена проблема недоступности инженерного образования и профессиональной деятельности для людей с нарушением зрения. Предложено создание тактильных чертежей как замена графическим, а также прописаны и обоснованы основные требования к их нанесению, такие как шрифт, масштаб, инструмент и материал.

Ключевые слова: шрифт Брайля, тактильный чертеж, символ, штрих, масштаб

Введение. Инженерное образование традиционно строится на визуальном восприятии материала. Чертеж является основным средством передачи данных о технике, ее деталях, форме, размерах. В связи с полной или частичной потерей зрения, люди теряют возможность в полной мере работать с ними, так как методы, основанные на словесном воспроизведении информации в данной сфере являются крайне неэффективными, в отличии от других сфер [2]. Это не дает людям с ограниченными возможностями (ОВЗ) по зрению обучаться по инженерным специальностям, а уже состоявшиеся специалисты, потерявшие зрение в результате травм или других обстоятельств, теряют вместе с ним и возможность работать по специальности, что приводит к возможной потере ценных кадров.

Основная часть. При разработке адаптивных чертежей необходимо решить задачи:

– разработать систему условных обозначений для различных типов линий;

– интегрировать шрифт Брайля в нанесение слов и цифр на чертеж;

– определить оптимальную технологию изготовления чертежей.

Для понимания чертежа большое значение имеет то, какая линия используется в рисовке того или иного элемента. Хотя в ГОСТах не прописаны четкие требования (есть интервалы допустимых значений) к линиям на чертеже, обычный человек улавливает различие между, к примеру, толстой и тонкой линией в сравнении. Однако, в отличии от зрячего человека, люди с ОВЗ при контакте с линией получают точную информацию только о ее наличии, но не о ее свойствах (тонкая, жирная, пунктирная или штрихпунктирная), так как их гораздо сложнее уловить руками. Поэтому необходимо ввести строгие обозначения для тактильных чертежей, которые будут сильно различаться между собой и иметь прописанные нормативы по длине и ширине штрихов.

При определении оптимального диаметра линий, следует отталкиваться от того, что грифель для шрифта Брайля имеет один стандартный диаметр – 1,5 мм [3]. Также следует учесть, что линии не могут накладываться одна на одну, как при стандартном чертеже.

Из этого следует, что основная сплошная толстая линия и разомкнутая будут по 3 мм. Исходя из этой толщины, сплошная тонкая линия, используемая для сносок, будет иметь диаметр 1,5 мм, также как и сплошная волнистая и пунктирная, что в два раза тоньше основной сплошной линии.

Далее необходимо обозначить интервалы между штрихами при различных типах линий. В шрифте Брайля установлены четкие стандарты для расстояний между словами, символами и точками в символе. Они равняются 6 мм, 3,5 мм и 2,5 мм соответственно [3]. Данные расстояния обусловлены физиологией осязания. Именно столько необходимо, чтобы нервные окончания подушечек пальцев зафиксировали переход между символами. Также, если уменьшить расстояния, то точки могут смешаться в одно целое и стать нечитаемыми. Это необходимо учитывать для установления необходимых расстояний.

На чертеже минимальное расстояние между штрихами находится между коротким и длинным штрихами штрихпунктирной линии. Исходя из удобства чтения, установим его равным 2,5 мм. Немного больше по размеру должно быть расстояние между штрихами пунктирной линии. Установим его равным 3,5 мм. Далее определим длину самих штрихов. В

начертательной геометрии она может сильно варьироваться в зависимости от длины данной линии. Однако для незрячих людей данные способ нанесения может быть проблематичным для восприятия. Таким образом установим фиксированную длину. Для самого длинного штриха – разомкнутой линии, установим размер 20 мм, далее у штрихпунктирной – 15 мм и 4 мм (для длинного и короткого штрихов соответственно), для пунктирной – 7 мм.

В связи с тем, что рисовка линий на тактильном чертеже в среднем толще в 3,5 раза, чем на обычном графическом, необходимо также учитывать масштаб чертежа. Исходя из ГОСТа 2.302-68 [5], масштаб увеличения может быть 2,5:1, далее 4:1. Более походящим для наших размеров является 4:1, что обеспечит наиболее точное соблюдение всех пропорций. Также это поможет избежать неразборчивой прорисовки мелких деталей, которая может возникнуть из-за утолщения линий.

Далее необходимо решить, как интегрировать шрифт Брайля в нанесение подписей, условных обозначений и размеров. Для этого рассмотрим написание букв и цифр шрифтом Брайля. Один символ занимает ячейку размером 4х6,5 мм [3]. Стандартный, написанный чертежным шрифтом, графический символ – 1,5х3,5 мм [1]. Так как размер чертежа увеличивается в 4 раза по сравнению с обычным, то такой размер символов позволит писать без сокращений и вреда пониманию чертежа.

Современные методы нанесения надписей шрифтам Брайля включают в себя ручное письмо, печать на 3D и лазерных принтерах. В зависимости от размера чертежа, бюджета и других возможностей предприятия могут применен любой из этих способов. Однако следует учесть, что если нанесение производится вручную, то выбор бумаги и грифеля должен быть соответствующим. Бумага должна быть плотностью минимум 160 г/м^2 (для сравнения, офисная бумага 80 г/м^2) во избежание деформации чертежа [4].

Заключение. Создание тактильных чертежей является необходимостью для интеграции незрячих людей в инженерную сферу. Поскольку прямое копирование визуальных стандартов непригодно для осязания, был предложен ряд нормативов, основанный на физиологии чувствительности пальцев. Установленный масштаб 4:1 позволит избежать потери информативности при нанесении. Внедрение данных решений позволит сохранить ценные кадры и откроет возможности инженерного образования для людей с ОВЗ.

Список литературы

1. Выполнение чертежей деталей : метод. пособие по курсу «Начертательная геометрия и инженерная графика» / М. В. Мисько [и др.]. – Минск : БГУИР, 2009. – 54 с.

2. ГОСТ Р 58512–2019. Рельефно-графические изображения для слепых. Технические характеристики. – М. : Стандартинформ, 2019. – 8 с.

3. ГОСТ Р 56832–2020. Шрифт Брайля. Требования и размеры. – М. : Стандартинформ, 2020. – 12 с.

4. Макин, В. З. Исследование процесса нанесения шрифта Брайля методом вакуумного формирования / В. З. Макин, Т. Г. Дудок // Научные труды Украинской академии печати. – 2018. – № 2. – С. 45–52.

5. ГОСТ 2.302–68. Единая система конструкторской документации. Масштабы. – Взамен ГОСТ 3451–59 ; введ. 1971–01–01 ; послед. изм. 2006–09–01. – М. : Стандартинформ, 2007. – 3 с.

UDC 62:376.32

DEVELOPMENT OF ADAPTIVE DRAWINGS FOR BLIND PEOPLE USING BRAILLE

Artsukevich A.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Zaitsev I.A. – Master of Sci., Senior Lecturer at the Department of ECG

Annotation. The problem of the inaccessibility of engineering education and professional activity for people with visual impairments is highlighted. The creation of tactile drawings is proposed as a replacement for graphic ones, and the basic requirements for their production, such as font, scale, tool, and material, are outlined and justified.

Keywords: Braille, tactile drawing, symbol, stroke, scale

УДК 621.7/.9:004

ОБРАТНЫЙ ИНЖИНИРИНГ ПРОСТОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ДЕТАЛИ: ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОТ ФИЗИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА ДО 3D-МОДЕЛИ

Суконкин В.В., Островский В.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Кошман В. Д. — магистр, ст. преподаватель кафедры ИКГ

Аннотация. Данная работа посвящена исследованию процесса обратного инжиниринга (реверс-инжиниринга) на примере простой механической детали – от физического объекта к созданию ее цифровой 3D-модели. Актуальность данного метода обусловлена необходимостью восстановления деталей, производство которых прекращено, при отсутствии технической документации.

Ключевые слова: обратный инжиниринг, реверс-инжиниринг, 3D-модель, механическая деталь

Введение. В современном машиностроении возникает ситуация, когда оборудование продолжает эксплуатироваться, однако необходимые запасные части уже не производятся. При выходе из строя простой механической детали и невозможности приобрести оригинальный элемент, практическим решением становится применение обратного инжиниринга – построение цифровой модели по существующему физическому образцу.

Основная часть. Процедура обратного инжиниринга механической детали [1] представляет собой последовательность взаимосвязанных этапов, каждый из которых влияет на точность конечного результата.

На подготовительной стадии деталь очищают от загрязнений, выполняют внешний осмотр и фиксируют видимые дефекты (трещины, сколы, следы износа). Одновременно определяются базовые поверхности, используемые в дальнейшем как измерительные базы.

Этап получения геометрической информации может реализовываться двумя способами: прямыми измерениями механическими средствами или трёхмерным сканированием.

При использовании традиционных измерительных инструментов применяются штангенциркуль, микрометр и нутромер. Штангенциркуль обеспечивает точность порядка 0,05 мм при измерении наружных и внутренних размеров, тогда как микрометр позволяет повысить точность до 0,01 мм. Преимуществом метода является его доступность, однако он затруднителен для деталей сложной формы.

Более технологичным подходом выступает 3D-сканирование, при котором формируется облако точек, содержащее большое количество координат поверхности детали. Современные сканирующие системы обеспечивают точность порядка 0,02–0,04 мм и позволяют корректно оцифровывать сложные геометрические элементы: зубчатые профили, радиусные поверхности и фаски.

После получения исходных данных детали они импортируются в специализированную CAD-систему, где формируется твердотельная модель. Далее проводится верификация – сопоставление цифровой модели с исходной деталью для оценки точности воспроизведения геометрии.

Для наглядности целесообразно рассмотреть уникальные детали, которые могут быть сняты с производства и отсутствовать в каталогах. Примером служит шестерня привода масляного насоса автомобиля ГАЗ-24 ранних выпусков. Для таких изделий, в частности для этой детали (рисунок 2), зачастую отсутствуют чертежи и аналоги, что делает обратный инжиниринг единственным способом восстановления.

В процессе воссоздания определяются основные геометрические параметры: наружные диаметры, размеры посадочных отверстий, ширина зубчатого венца [2]. Для зубчатых колёс

дополнительно вычисляются скрытые характеристики – модуль зацепления, угол профиля и коэффициент смещения. Они определяются на основе измерений и теоретических зависимостей (так как есть параметры, которые приборами не померяешь напрямую: модуль зацепления, угол профиля зуба, коэффициент смещения и т.д.).

При построении CAD-модели важно не копировать изношенную поверхность, а восстановить номинальный профиль зуба. Практика показывает, что при корректном выполнении работ среднее отклонение модели может составлять 0,03–0,05 мм [3], что является достаточным для эксплуатации и соответствует восьмой степени точности (рисунок 1):

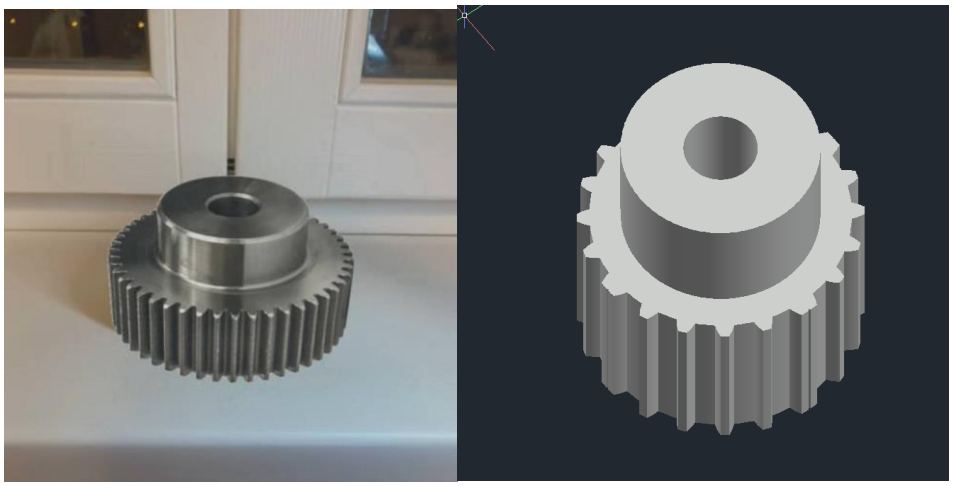
С. 6 ГОСТ 13506—81 **Электронная версия**

Степень точности	Обозначение	Модуль m, мм	Длина рейки L, мм								
			До 12	Св. 12 до 20	Св. 20 до 32	Св. 32 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 125	Св. 125 до 200	Св. 200 до 315	Св. 315 до 630*
			мкм								
5	F_i'	От 0,1 до < 1,0	$F_i' = F_p + f_i'$ (см. примечание 2)								
	F_p	От 0,1 до < 1,0	10	11	12	14	16	19	22	25	32
	F_{pr}	От 0,1 до < 1,0	±7	±10	±11	±12	±14	±16	±19	±22	±25
6	F_i'	От 0,1 до < 1,0	$F_i' = F_p + f_i'$ (см. примечание 2)								
	F_p	От 0,1 до < 1,0	16	17	19	22	25	30	36	40	50
	F_{pr}	От 0,1 до < 1,0	±11	±16	±17	±19	±22	±25	±30	±35	±40
7	F_i'	От 0,1 до < 1,0	$F_i' = F_p + f_i'$ (см. примечание 2)								
	F_p	От 0,1 до < 1,0	22	24	26	30	35	42	50	56	70
	F_{pr}	От 0,1 до < 1,0	±18	±20	±22	±25	±30	±35	±40	±46	±56
8	F_i'	От 0,1 до < 1,0	$F_i' = F_p + f_i'$ (см. примечание 2)								
	F_p	От 0,1 до < 1,0	32	34	38	42	50	60	70	80	100
	F_{pr}	От 0,1 до < 1,0	±25	±28	±30	±36	±40	±50	±58	±66	±80

Рисунок 1 – Таблица степеней точности зубчатых колёс

В процессе выполнения работы мы создали 3D-модель детали на основе её реального образца. Сначала мы очистили деталь и внимательно её осмотрели (рисунок 2, а), после чего выполнили необходимые измерения с помощью штангенциркуля и микрометра. Основное внимание мы уделяли ключевым размерам, от которых зависит точность будущей модели.

Далее полученные размеры мы перенесли в CAD-программу и поэтапно построили твердотельную 3D-модель детали (рисунок 2, б). При моделировании мы использовали как измеренные значения, так и расчётные параметры, чтобы восстановить правильную геометрию детали. В конце мы сравнили модель с исходной деталью и убедились, что точность моделирования достаточна для дальнейшего изготовления.



а) б)

Рисунок 2 – Физический образец шестерни привода масляного насоса автомобиля ГАЗ-24 ранних выпусков (а) и 3D-модель детали, созданная методом обратного инжиниринга (б)

Созданная в процессе обратного инжиниринга 3D-модель физического образца детали является универсальной цифровой основой для её последующего воспроизводства различными технологическими методами. В зависимости от требуемых характеристик, материала и серийности, модель может быть адаптирована под конкретное производство. Например, для изготовления точной копии из металла возможно применение механической обработки на станках с числовым программным управлением (ЧПУ), что обеспечивает высокую точность геометрических параметров. На этапе проверки собираемости и кинематики узла эффективно используется 3D-печать из пластика (FDM или фотополимерная печать), позволяющая быстро получить прототип для контрольной сборки. Для получения готового металлического изделия сложной формы, которую невозможно или экономически нецелесообразно обрабатывать на станках, применяется аддитивное производство из металла. Таким образом, технология обратного инжиниринга позволяет воспроизводить детали, утратившие серийное производство, с точностью, достаточной для их практического применения.

Заключение. В ходе работы рассмотрен процесс обратного инжиниринга простой механической детали: шестерня привода масляного насоса автомобиля ГАЗ-24 ранних выпусков, и показаны этапы преобразования физического образца в цифровую 3D-модель.

Установлено, что обратный инжиниринг представляет собой многостадийную процедуру, включающую подготовку объекта, получение геометрических данных, их обработку и построение CAD-модели. Наиболее распространёнными способами получения размеров являются прямые измерения (точность 0,01–0,05 мм) и 3D-сканирование (до 0,02 мм), выбор которых определяется сложностью детали и требуемой точностью.

Исследование показало, что наибольшую практическую ценность обратный инжиниринг имеет именно для изделий, снятых с производства и не имеющих документации. На примере зубчатой детали продемонстрировано, что корректное восстановление теоретической геометрии обеспечивает возможность последующего изготовления и эксплуатации изделия. Следовательно, обратный инжиниринг можно рассматривать как эффективный инструмент решения проблемы дефицита запасных частей для устаревшего и уникального оборудования. Применение данной технологии позволяет поддерживать работоспособность техники без обращения к производителю, что имеет существенное практическое значение для промышленности, автосервисов и частных пользователей.

Список литературы

1. Карфидов, А. О. Обратный инжиниринг деталей машин и элементов конструкций. Лабораторные работы по 3D-сканированию и реверсивному инжинирингу (N 4671) : учебное пособие / А. О. Карфидов, М. Г. Наумова, И. Г. Морозова, И. А. Емельянов ; НИТУ МИСИС. – Москва : МИСИС, 2025. – 61 с. – URL: http://lib.msk.misis.ru/elib/view.php?id_abs=987784300 (дата обращения: 01.03.2026).

2. Кувшинов, Н. С. Инженерная и компьютерная графика: учебник / Н. С. Кувшинов, Т. Н. Скоцкая. – Москва: ИНФРА-М, 2016. – 318 с.

3. ГОСТ 13506-81. Основные нормы взаимозаменяемости. Передачи зубчатые реечные мелкомодульные. Допуски. – Москва: Издательство стандартов, 1981. – 31 с.

UDC 621.7/.9:004

REVERSE ENGINEERING OF A SIMPLE MECHANICAL PART: FROM PHYSICAL OBJECT TO 3D MODEL

Sukonkin V.V., Ostrovsky V.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Koshman V. D. — Master of Science, Senior Lecturer at the Department of ECG

Annotation. This study examines the reverse engineering process using a simple mechanical component as an example — the transformation of a physical object into a digital 3D-model. The relevance of this method is due to the need to restore parts whose production has been discontinued in the absence of technical documentation.

Keywords: reverse engineering, 3D-model, mechanical part

УДК 697.24:621.311.22:004.92

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ И ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ТЕПЛОВОГО НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ ДЛЯ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ЧАСТНОГО ДОМА

Зиангиров А.Ф.

Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Российская Федерация

Научный руководитель: Зинуров В.Э. – к.т.н., и.о. зав кафедрой ИГ

Аннотация. Рассмотрена возможность применения стационарного высокотемпературного теплового накопителя энергии в системе водяного отопления частного дома, расположенного в негазифицированном регионе. Выполнена укрупнённая оценка суточной тепловой потребности здания, требуемой энергоёмкости накопителя и мощности его ночной зарядки. Представлена схема экспериментальной установки для исследования теплофизических характеристик теплоаккумулирующих материалов. На основе полученных параметров рассмотрено параметрическое моделирование конструкции теплового накопителя в системе автоматизированного проектирования КОМПАС-3D. Показано, что применение тепловых накопителей позволяет переносить значительную часть электропотребления на ночной период и снижать пиковые нагрузки на энергосистему.

Ключевые слова: тепловой накопитель энергии, электроотопление, теплоаккумулирующие материалы, параметрическое моделирование, КОМПАС-3D

Введение. Повышение эффективности использования электрической энергии в системах отопления является одной из актуальных задач современной энергетики. В условиях роста тарифов на энергоресурсы и увеличения доли электроотопления в жилом секторе особое значение приобретает задача сглаживания суточных графиков потребления электроэнергии [4].

Одним из эффективных способов решения данной задачи является использование систем аккумулирования тепловой энергии. Тепловые накопители позволяют запасать энергию в периоды минимальной нагрузки энергосистемы, например в ночные часы, и использовать её в дневное время для обеспечения отопления зданий [5].

В последние годы значительное внимание уделяется разработке высокотемпературных тепловых накопителей, в которых тепло аккумулируется в твёрдотельных материалах при температурах до 800–900 °C. Такие устройства обладают высокой удельной энергоёмкостью и могут иметь меньшие габариты по сравнению с традиционными водяными аккумуляторами тепла [1].

Разработка подобных систем требует проведения как теплотехнических расчётов, так и инженерного проектирования конструкции. В современных условиях важную роль играет применение систем автоматизированного проектирования, позволяющих создавать параметрические модели оборудования и анализировать различные варианты компоновки [7].

Целью настоящей работы является укрупнённая оценка параметров высокотемпературного теплового накопителя энергии для системы отопления частного дома площадью 100 м², а также анализ конструкции экспериментальной установки и рассмотрение параметрического моделирования накопителя в системе КОМПАС-3D.

Основная часть. В качестве расчётного объекта принят жилой дом площадью 100 м² с традиционной водяной системой отопления. Для укрупнённой инженерной оценки удельная тепловая нагрузка здания принята равной 80 Вт/м², что соответствует значениям, характерным для утеплённых жилых зданий средней полосы России [6].

Расчётная тепловая мощность системы отопления определяется выражением (1):

$$Q = q \cdot S, \tag{1}$$

где q – удельная тепловая нагрузка здания, Вт/м²;
S – площадь здания, м².
Для рассматриваемого дома:

$$Q = 80 \cdot 100 = 8000 \text{ Вт}.$$

Таким образом, максимальная тепловая мощность системы отопления составляет около 8 кВт.

Практический опыт эксплуатации систем отопления показывает, что средняя тепловая нагрузка здания в течение суток обычно составляет около 65–70 % от расчётной величины [6]. В этом случае средняя мощность системы отопления может быть принята равной приблизительно 5,5 кВт.

Суточная потребность здания в тепловой энергии определяется по формуле 2:

$$E = P \cdot t, \quad (2)$$

где P – средняя тепловая мощность системы отопления;
t – продолжительность расчётного периода.
При t = 24 ч получаем:

$$E = 5{,}5 \cdot 24 = 132 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

При расчёте параметров теплового накопителя необходимо учитывать теплопотери и потери передачи теплоты от аккумулирующего блока к теплоносителю, а также эффективность теплоизоляции конструкции накопителя [3]. Если принять общий коэффициент полезного использования запасённой теплоты равным 0,85, то требуемый запас энергии внутри накопителя составит:

$$E_{\text{нак}} = \frac{132}{0{,}85} \approx 155 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Следовательно, энергоёмкость высокотемпературного теплового накопителя для рассматриваемого здания должна составлять порядка 150–160 кВт·ч.

При использовании двухтарифной системы электроснабжения зарядка накопителя может осуществляться преимущественно в ночные часы. Если продолжительность ночного периода принять равной 8 ч, то требуемая мощность электрических нагревателей определяется как:

$$P = \frac{E}{t} = \frac{155}{8} \approx 19 \text{ кВт}.$$

Таким образом, установленная мощность нагревательных элементов может составлять около 20–22 кВт.

Для исследования тепловых процессов и теплофизических характеристик теплоаккумулирующих материалов используется экспериментальная установка теплового накопителя, схема которой представлена на рисунке 1.

В экспериментальной установке нагрев осуществляется электрическим нагревательным элементом в виде фехралевой спирали, размещённой внутри керамической трубки.

Пространство вокруг нагревателя заполнено корундовым порошком, выполняющим функцию теплоаккумулирующего материала.

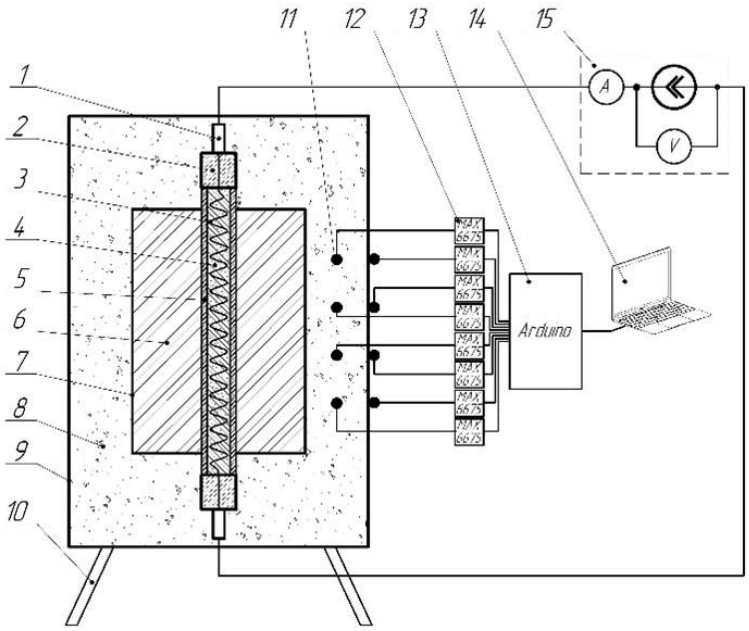


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки теплового накопителя:
1 – клеммная колодка; 2 – пробка; 3 – нить нагрева; 4 –корундовый порошок; 5 – трубка керамическая; 6 – теплоаккумулирующий материал; 7 – цилиндрический корпус; 8 – теплоизоляционный материал; 9 – оболочка; 10 – опора; 11 – термопары; 12 – измерительные модули; 13 – контроллер; 14 – компьютер; 15 –источник тока

Температурный режим контролируется термопарами типа К, установленными на различных уровнях слоя. Сигналы с термопар поступают в измерительные модули и далее передаются на контроллер и компьютер для регистрации и обработки данных.

Подобные экспериментальные установки позволяют исследовать теплопроводность и тепловой режим сыпучих материалов при высоких температурах, а также оценивать влияние плотности упаковки и структуры материала на процессы теплопереноса [1,2].

Разработка конструкций тепловых накопителей требует проведения компоновочных расчётов и анализа геометрических параметров устройства. Для решения данной задачи используется параметрическое моделирование в системе автоматизированного проектирования КОМПАС-3D.

Параметрическая модель теплового накопителя позволяет задавать основные конструктивные параметры устройства, включая:

– диаметр цилиндрического корпуса;
– высоту теплоаккумулирующего слоя;
– толщину теплоизоляции;
– объём теплоаккумулирующего материала;
– расположение нагревательных элементов.

Изменение указанных параметров приводит к автоматическому перестроению геометрии модели. Это позволяет быстро анализировать различные конструктивные варианты теплового накопителя, оценивать габаритные размеры и проводить предварительную оптимизацию конструкции.

Использование параметрического моделирования облегчает разработку теплотехнического оборудования и является важным этапом подготовки конструкторской документации при проектировании энергетических установок [7].

Заключение. В работе выполнена укрупнённая оценка параметров высокотемпературного теплового накопителя энергии для системы отопления частного дома

площадью 100 м². Показано, что расчётная тепловая мощность системы отопления составляет около 8 кВт, а средняя суточная потребность в тепловой энергии – порядка 132 кВт·ч.

Установлено, что для полного покрытия суточной тепловой нагрузки энергоёмкость теплового накопителя должна составлять около 150–160 кВт·ч. При ночной зарядке продолжительностью 8 часов требуемая мощность нагревательных элементов составляет около 20 кВт.

Рассмотрена конструкция экспериментальной установки для исследования теплоаккумулирующих материалов. Показано, что применение параметрического моделирования в системе КОМПАС-3D позволяет эффективно выполнять предварительное проектирование тепловых накопителей и анализировать различные варианты их конструкции.

Исследование выполнено в рамках гранта Академии Наук Республики Татарстан на поддержку программ развития передовых инженерных школ республиканского значения «ТурбоПИШ», соглашение 1РПИШ от 19.12.2025 г.

Список литературы

1. Оценка процесса переноса энергии в тепловом накопителе с высокотемпературным рабочим телом при его разрядке / А. Н. Чадаев, А. В. Дмитриев, В. Э. Зинуров [и др.] // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2024. – Т. 24, № 4. – С. 73-85. – DOI 10.14529/power240409. – EDN XJZJKR.

2. Численное моделирование нагрева теплового накопителя энергии для обогрева тепличного хозяйства / А. В. Дмитриев, В. Э. Зинуров, М. О. Уткин [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2025. – Т. 20, № 1(77). – С. 47-53. – DOI 10.12737/2073-0462-2025-1-47-53. – EDN PCSCQF.

3. Алгоритм расчета многослойной системы теплоизоляции теплового накопителя энергии с высокотемпературным рабочим телом / А. Н. Чадаев, А. В. Дмитриев, В. Э. Зинуров [и др.] // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2024. – Т. 26, № 6. – С. 166-179. – DOI 10.30724/1998-9903-2024-26-6-166-179. – EDN JNGEHY.

4. Duffie J. A., Beckman W. A. Solar Engineering of Thermal Processes. – John Wiley & Sons, 2013.

5. Sharma A. et al. Review on thermal energy storage with phase change materials and applications //Renewable and Sustainable energy reviews. – 2009. – Т. 13. – №. 2. – С. 318-345.

6. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. – М.: Минрегион России, 2012.

7. Системы автоматизированного проектирования машин и оборудования. В 2 ч. Ч. 1. Основы двухмерного проектирования деталей машин в системе КОМПАС-ГРАФИК учеб.-метод. пособие к лаб. работам по одноим. дисциплине для студентов специальности 1-36 07 01 «Машины и аппараты химических производств и предприятий строительных материалов» / А. А. Гарабажиу. – Мн. : БГТУ, 2006. – 145 с.

UDC 697.24:621.311.22:004.92

ASSESSMENT OF PARAMETERS AND PARAMETRIC MODELING OF A HIGH-TEMPERATURE THERMAL ENERGY STORAGE SYSTEM FOR A PRIVATE HOUSE HEATING SYSTEM

Ziangirov A.F.

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russian Federation

Scientific supervisor: Zinurov V.E. – Cand. of Sci., acting head of the department of EG

Annotation. This article examines the feasibility of using a stationary high-temperature thermal energy storage device in a domestic hot water heating system for a private home located in a region without gasification. A comprehensive assessment of the building's daily heating demand, the required energy capacity of the storage device, and its nighttime charging capacity is provided. A schematic of an experimental setup for studying the thermophysical properties of heat-storage materials is presented. Based on the obtained parameters, parametric modeling of the storage device design is considered using the KOMPAS-3D automated design system. It is demonstrated that the use of thermal storage devices allows for the transfer of a significant portion of electricity consumption to the nighttime period, reducing peak loads on the power grid.

Keywords: thermal energy storage, electric heating, heat-storage materials, parametric modeling, KOMPAS-3D

УДК 658.512.2:621.438

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ТУРБИННОГО КОЛЕСА С ИЗОГНУТЫМИ ЛОПАСТЯМИ

Мугинов А.М., Мугинова А.И.

Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Российская Федерация

Научный руководитель: Зинуров В.Э. – к.т.н., и.о. заведующего кафедры ИГ

Аннотация. В статье представлена методика параметрического проектирования цифровой модели турбинного колеса с изогнутыми лопастями в системе «КОМПАС-3D». Геометрия модели задаётся системой взаимосвязанных параметров, используемых при построении эскизов и операциях твердотельного моделирования. Получена параметрическая 3D-модель турбинного колеса, позволяющая изменять геометрические характеристики конструкции путём корректировки параметров.

Ключевые слова: параметрическая модель, турбинное колесо, изогнутые лопасти, САПР КОМПАС-3D, цифровое проектирование

Введение. Развитие цифровых технологий инженерного моделирования и автоматизированного проектирования усиливает роль параметрических методов при создании геометрически сложных элементов энергетических машин [1]. В энергетическом машиностроении значительное место занимают турбинные колеса с изогнутыми лопастями, форма которых определяется совокупностью взаимосвязанных геометрических параметров и требует точного воспроизводства в цифровой среде [2]. Геометрия таких элементов характеризуется пространственной кривизной профилей, изменением углов установки и параметров распределения сечений вдоль радиуса, что усложняет процесс их формализованного описания в средах автоматизированного проектирования. При создании цифровых моделей подобных объектов необходимо учитывать взаимозависимость параметров профиля лопатки, геометрии ступицы и обода колеса, а также условия их сопряжения в единой конструктивной структуре. Это обусловливает необходимость использования параметрического подхода, позволяющего задавать геометрию через систему управляемых параметров и зависимостей. При этом для образовательных задач сохраняется дефицит методически структурированных подходов к построению параметрических моделей таких объектов [3]. В связи с этим целью исследования является разработка методики проектирования параметрической цифровой модели турбинного колеса с изогнутыми лопастями для учебных задач.

В данной статье автором описана методика построения параметрической 3D-модели турбинного колеса в системе автоматизированного проектирования. Представленная методика ориентирована на последовательное формирование геометрии основных конструктивных элементов колеса на основе заданного набора параметров. Реализация предложенного подхода обеспечивает возможность изменения геометрических характеристик модели без перестроения всей структуры построений. Это позволяет использовать разработанную модель в учебном процессе при освоении методов параметрического моделирования сложных машиностроительных объектов.

Основная часть. В ходе работы применялось специализированное программное обеспечение (ПО) «КОМПАС-3D», широко используемое для решения технических и научно-практических задач [4, 5]. Данная система автоматизированного проектирования предназначена для разработки трехмерных геометрических моделей изделий и подготовки конструкторской документации. Использование CAD-средств позволяет выполнять геометрическое моделирование и визуализацию объектов различной сложности, что расширяет возможности инженерного анализа. В образовательной практике программный комплекс применяется при изучении графических дисциплин и формировании навыков работы с цифровыми средствами проектирования [4]. Функциональные возможности системы включают инструменты построения трехмерных моделей, выполнения расчетов и подготовки проектной документации [5]. Применение данного программного комплекса способствует повышению точности моделирования и ускоряет процесс разработки инженерных решений.

Для проектирования цифровой модели турбинного колеса применялся метод параметрического моделирования, реализуемый в системе автоматизированного проектирования «КОМПАС-3D». Параметрическое моделирование основано на описании геометрии изделия через систему числовых параметров, определяющих размеры и взаимное расположение элементов конструкции. При построении параметрической модели значения размеров задаются не фиксированными числовыми величинами, а переменными. Эти переменные используются как при определении размеров геометрических элементов эскизов, так и при задании параметров операций твердотельного моделирования. В результате параметры эскизов и параметры операций формируют единую систему взаимосвязанных переменных, которая определяет геометрию модели и позволяет изменять её путем корректировки значений соответствующих параметров. В среде «КОМПАС-3D» все введенные переменные отображаются в отдельном окне параметров (рисунок 1), предназначенном для управления параметрической структурой модели. В данном окне пользователь может создавать новые переменные, задавать их числовые значения и использовать их при определении размеров эскизов и параметров операций моделирования. Кроме того, между переменными могут задаваться зависимости с использованием математических выражений. Это позволяет формализовать взаимосвязь геометрических характеристик модели и обеспечить согласованное изменение параметров при модификации конструкции.

	Имя	Выражение	Значение	Параметр	Комментарий
▾ Турбиное колесо (Тел-1)					
	d	20	20		
	D	28	28		
i	h	D	28		
i	z	a/360	0.125		
	s	2.5	2.5		
	l	21	21		
	a	45	45		
	n	8	8		

Рисунок 1 – Окно параметров в ПО «КОМПАС-3D»

На первом этапе сформирован эскиз диска, определяющий базовую геометрию колеса. Основными параметрами данного элемента являются внешний диаметр D и диаметр посадочного отверстия под вал d. По построенному эскизу выполнена операция твердотельного выдавливания, в результате которой сформирован венец турбинного колеса. Ширина венца h задавалась параметрически и определялась согласно формуле 1.

$$h = D. \tag{1}$$

На втором этапе построен эскиз поперечного сечения лопасти с параметрами длины l и ширины s. Для задания пространственной формы лопасти сформирована траектория изгиба с использованием инструмента «спираль цилиндрическая». При её построении задавались ширина венца h и число витков z, определяющее степень закрутки лопасти. Значение параметра z связано с углом изгиба лопасти a и рассчитывалось по упрощённой зависимости 2:

$$z = \frac{a}{360} \tag{2}$$

На основе сформированного эскиза и заданной траектории выполнена операция построения элемента по траектории. После формирования одной лопасти остальные элементы получены с использованием инструмента «массив по концентрической сетке», в котором задавалось количество лопастей n. В результате сформирована параметрическая трёхмерная модель турбинного колеса (рисунок 2).

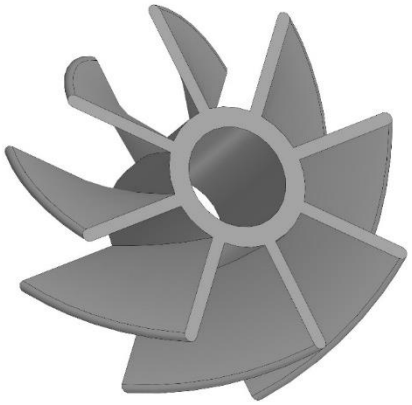


Рисунок 2 – Параметрическая 3D-модель турбинного колеса при *d*=20 мм, *D*=28 мм, *a*=45°, s=2,5

Заключение. Таким образом, разработана методика параметрического проектирования цифровой модели турбинного колеса с изогнутыми лопастями в среде САПР «КОМПАС-3D», основанная на использовании системы взаимосвязанных переменных, применяемых при построении эскизов и операциях твердотельного моделирования. Параметрическая структура модели формируется на основе ключевых геометрических параметров конструкции, включая внешний диаметр колеса *D*, диаметр посадочного отверстия *d*, ширину венца *h*, а также параметры лопасти *l*, *s*, угол изгиба a и число витков траектории *z*. Полученная параметрическая модель обеспечивает возможность изменения геометрических характеристик турбинного колеса путем корректировки параметров без перестроения структуры построений. Разработанный подход может применяться в учебном процессе при изучении методов параметрического моделирования сложных машиностроительных объектов и освоении инструментов цифрового проектирования. Исследование выполнено в рамках гранта Академии Наук Республики Татарстан на поддержку программ развития передовых инженерных школ республиканского значения «ТурбоПИШ», соглашение 1РПИШ от 19.12.2025 г.

Список литературы

1. *Parametric design and multiple objective intelligent optimization of marine nuclear turbine aerothermodynamics under variable conditions / L. Zhang, G. Chen, Yu. A. Shi, L. Xie // Scientific Reports. 2025. Vol. 15, No 1. P. 24813. DOI: 10.1038/s41598-025-04520-4.*

2. *Ferhatoglu E., Botto D., Zucca S. Parametric study for model calibration of a friction-damped turbine blade with multiple test data // Nonlinear Dynamics. 2024. Vol. 112, No 10. P. 7847–7873. DOI: 10.1007/s11071-024-09396-z.*

3. *Хоанг К. К. Метод построения обучающего курса САПР // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2022. Т. 49, № 2. С. 76–86. DOI: 10.21822/2073-6185-2022-49-2-76-86.*

4. *Агапов М. Е., Мусиенко О. А., Ширлина И. И. Компьютерное моделирование в изучении геометро-графических дисциплин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Строительство и архитектура». 2024. Т. 24, № 1. С. 70–77. DOI: 10.14529/build240109.*

5. *Важдаев К. В., Мартяшева В. А., Аллабердин А. Б. и др. Использование отечественных программных продуктов 3D моделирования при проектировании инженерных сетей // Строительство и техногенная безопасность. 2024. № 34(86). С. 51–58.*

UDC 658.512.2:621.438

PARAMETRIC DESIGN OF A DIGITAL MODEL OF A TURBINE WHEEL WITH CURVED BLADES

Muginov A.M., Muginova A.I.

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russian Federation

Zinurov V.E. – Cand. of Sci., Acting Head of the Department of EG

Annotation. The article presents a method of parametric design of a digital model of a turbine wheel with curved blades in the COMPASS-3D system. The geometry of the model is defined by a system of interrelated parameters used in the construction of sketches and solid modeling operations. A parametric 3D model of a turbine wheel has been obtained, which allows for the modification of the geometric characteristics of the structure by adjusting the parameters.

Keywords: parametric model, turbine wheel, curved blades, CAD COMPASS-3D, digital design

УДК 66.074.2

РАЗРАБОТКА ИНЖЕНЕРНОЙ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА МУЛЬТИВИХРЕВОГО КЛАССИФИКАТОРА ДЛЯ ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Прец М. А, Вдовина В.А.

Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Российская Федерация

Научный руководитель: Зинуров В. Э. – к.т.н., и. о. зав. кафедрой ИГ

Аннотация. В статье представлены результаты разработки инженерной методики расчета мультивихревого классификатора с соосно расположенными трубами для фракционирования мелкодисперсных сыпучих материалов. Подробно описан процесс создания параметрической CAD-модели аппарата в среде КОМПАС-3D, позволивший оперативно генерировать множество конструктивных вариантов для последующего численного моделирования в ANSYS Fluent. На основе анализа данных CFD-моделирования выявлены зависимости фракционной эффективности от геометрических параметров.

Ключевые слова: мультивихревой классификатор, фракционирование, параметрическое моделирование, КОМПАС-3D, численное моделирование, CFD

Введение. Современное производство предъявляет всё более высокие требования к качеству переработки сыпучих материалов, особенно в таких отраслях, как химическая промышленность, фармацевтика, производство строительных смесей, агропромышленный комплекс и экологическая инженерия [1]. Одной из ключевых технологических операций в этих процессах является классификация – разделение материала по размеру частиц. Эффективность данного этапа определяет не только качество конечной продукции, но и экономичность, безопасность и устойчивость всего производственного цикла.

Особую сложность представляет фракционирование мелкодисперсных частиц размером менее 60-100 мкм. Традиционные методы разделения, такие как механическое просеивание, гравитационные и инерционные сепараторы, циклоны, обладают рядом ограничений: от износа оборудования и невысокой селективности до больших энергетических затрат и низкой эффективности в указанном диапазоне размеров [2]. В связи с этим возрастает интерес к использованию инерционных методов, основанных на динамике движения частиц в закрученных газовых потоках, не требующих подвижных частей и отличающихся высокой надёжностью.

Основная часть. Для решения проблем классификации мелкодисперсных материалов разработан мультивихревой классификатор с соосно расположенными трубами (рисунок 1). Данный аппарат является статическим устройством, не содержит подвижных элементов, а разделение частиц происходит исключительно за счёт центробежных и инерционных сил, возникающих при движении закрученного газового потока.

Принцип работы классификатора строится на разделении основного воздушного потока с образованием дополнительных вихрей. Воздух с взвешенными частицами поступает через вертикальную трубу. В нижней части этой трубы выполнены вертикальные прямоугольные щели, через которые газовый поток поступает в кольцевое пространство между внутренней и наружной трубами. Благодаря такой организации потока формируются устойчивые вертикальные вихри, количество которых в два раза превышает число щелей. Вихри располагаются касательно по отношению друг к другу, что обеспечивает их взаимную закрутку и интенсификацию вращательного движения. В результате воздействия центробежных сил крупные частицы выбиваются из общего потока, сталкиваются со стенками наружной трубы и под действием силы тяжести падают в бункер сбора крупной фракции. Мелкие частицы, обладающие меньшей инерцией, не способны преодолеть аэродинамическое сопротивление и уносятся воздушным потоком на дальнейшую очистку в циклоны и фильтры.

Стенки наружной трубы выполнены закруглёнными, что исключает зоны локального отрыва потока и повторный унос материала.

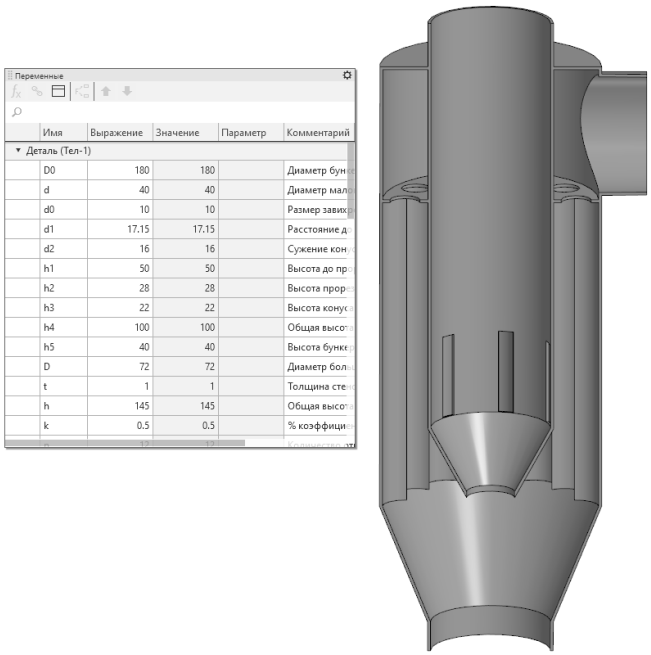


Рисунок 1 – Параметрическая модель мультивихревого классификатора (в разрезе).

Целью настоящей работы является создание инженерной методики расчета мультивихревого классификатора, позволяющей по заданному размеру граничного зерна (т.е. крупности частиц, подлежащих выделению) определять основные геометрические размеры конструкции аппарата. Такая методика необходима для оперативного проектирования оборудования под конкретные технологические задачи без проведения длительных и дорогостоящих экспериментальных исследований.

На первом этапе для определения базовой конструкции аппарата и выявления влияния геометрических параметров на эффективность разделения было выполнено численное моделирование в программном комплексе ANSYS Fluent. В процессе CFD-моделирования варьировались следующие параметры: диаметры внутренних и наружных труб, размеры, положение и степень раскрытия вертикальных щелей, высота основных элементов аппарата и др.

Учитывая большое количество исследуемых вариантов конструкции, было принято решение о создании параметрической модели в среде КОМПАС-3D [3]. Модель строилась таким образом, чтобы все основные размеры задавались не числами, а буквенными параметрами и формулами с зависимостями. В результате была сформирована таблица переменных, изменение значений в которой позволяло автоматически перестраивать геометрию аппарата, что значительно ускорило процесс подготовки данных для последующих расчетов.

Готовая CAD-модель экспортировалась в ANSYS Fluent для проведения сеточной дискретизации и последующего численного эксперимента. Для повышения точности расчетов и снижения вычислительных затрат использовалась осевая симметрия – моделирование проводилось для одного характерного сектора кольцевого канала.

В ходе численных экспериментов были получены зависимости фракционной эффективности от конструктивных параметров при различных входных условиях. Результаты моделирования подтвердили, что при определённой конфигурации устройства возможно достичь эффективности фракционирования свыше 95 % для частиц размером 20–40 мкм [4]. На основе анализа результатов CFD-моделирования были установлены количественные

зависимости геометрических размеров базовой конструкции от требуемого размера граничного зерна [5]. Полученные данные легли в основу разрабатываемой инженерной методики расчета. В докладе будет представлена инженерная методика расчета классификатора, включающая критериальные уравнения, позволяющие определить основные размеры аппарата, а также методики технико-экономического и эрозионного расчетов, необходимые для оценки эффективности и надежности работы оборудования в реальных условиях эксплуатации.

Заключение. В результате проведенных исследований разработана параметрическая модель мультивихревого классификатора и выполнена серия численных экспериментов по оценке влияния геометрических параметров на его эффективность. Установлены конструктивные зависимости, обеспечивающие эффективность фракционирования свыше 95 % для частиц размером 20–40 мкм. На основе полученных данных сформулированы основы инженерной методики расчета аппарата под заданный размер граничного зерна, что позволяет перейти к проектированию промышленных образцов оборудования.

Исследование выполнено в рамках гранта Академии Наук Республики Татарстан на поддержку программ развития передовых инженерных школ республиканского значения «ТурбоПИШ», соглашение 1РПИШ от 19.12.2025 г.

Список литературы

1. Прец, М. А. Исследование влияния изменения размеров прямоугольных щелей классификатора на эффективность улавливания частиц / М. А. Прец, А. М. Мугинов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2025. – № 206. – С. 242-249. – DOI 10.21515/1990-4665-206-020.

2. The Influence of the Design of a Static Multi-Vortex Classifier on the Efficiency Fractionation of Silica Gel Particles / V. E. Zinurov, A. V. Dmitriev, O. S. Dmitrieva, A. M. Muginov // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. – 2024. – Vol. 58, No. 3. – P. 645-650. – DOI 10.1134/s0040579524600992.

3. Прец, М. А. Разработка параметрической модели мультивихревого классификатора для фракционирования твердых частиц / М. А. Прец, А. М. Мугинов, А. И. Юмадилова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2024. – № 203. – С. 280-288. – DOI 10.21515/1990-4665-203-025.

4. Эффективность фракционирования мелкодисперсного сыпучего материала в мультивихревом классификаторе при изменении конструктивных параметров / М. А. Прец, В. Э. Зинуров, А. В. Дмитриев, В. А. Вдовина // Вестник Технологического университета. – 2025. – Т. 28, № 7. – С. 128-133. – DOI 10.55421/3034-4689_2025_28_7_128.

5. Фракционирование твердой дисперсной фазы в воздушном потоке в мультивихревом классификаторе / М. А. Прец, В. Э. Зинуров, А. В. Дмитриев, А. М. Мугинов // Башкирский химический журнал. – 2025. – Т. 32, № 3. – С. 107-115. – DOI 10.17122/bcj-2025-3-107-115.

UDC 66.074.2

DEVELOPMENT OF AN ENGINEERING METHODOLOGY FOR CALCULATING A MULTI-VORTEX CLASSIFIER FOR FRACTIONATION OF BULK MATERIALS

Prets.M.A., Vdovina V.A.

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russian Federation

Zinurov. V.E. – Cand. of Sci., Acting Head of the department of EG

Annotation. The article presents the results of developing an engineering methodology for calculating a multi-vortex classifier with coaxial pipes for fractionation of fine-grained bulk materials. The process of creating a parametric CAD model of the apparatus in the КОМПАС-3D environment is described in detail, which made it possible to quickly generate a variety of design options for subsequent numerical modeling in ANSYS Fluent. Based on the analysis of CFD modeling data, the dependencies of fractional efficiency on geometric parameters were identified.

Keywords: multi-vortex classifier, fractionation, parametric modeling, KOMPAS-3D, numerical modeling, CFD

УДК 621.57

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АБСОРБЦИОННОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ

Зинурова К.И.

Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Российская Федерация

Научный руководитель: Якимов Н.Д. – д.ф-м.н., профессор, профессор кафедры АТПП

Аннотация. Выполнен укрупнённый расчёт параметров одноступенчатой абсорбционной холодильной машины для энергетического объекта. Определены тепловая нагрузка на генератор, величина отводимой теплоты и расходы воды по внешним контурам. Показана пригодность АХМ для использования низкопотенциальной теплоты.

Ключевые слова: абсорбционная холодильная машина, энергетический объект, тепловая нагрузка, низкопотенциальная теплота

Введение. В современных энергетических системах всё более актуальной становится задача повышения степени использования первичных энергетических ресурсов. Значительная часть тепловой энергии на промышленных и коммунально-энергетических объектах в тёплый период года используется не полностью, а часть низкопотенциальной теплоты вовсе не находит полезного применения [1]. В этих условиях особый интерес представляют технологии, позволяющие преобразовывать доступную теплоту в востребованный энергетический продукт, в частности в холод для систем кондиционирования воздуха, технологического охлаждения и обеспечения требуемых температурных режимов оборудования [2].

Одним из наиболее перспективных решений для таких условий являются абсорбционные холодильные машины. В отличие от традиционных парокомпрессионных установок, в которых основная доля затрат связана с потреблением электрической энергии компрессором, абсорбционные системы используют в качестве движущего энергетического фактора теплоту внешнего источника. Это делает их особенно привлекательными для энергетики, где возможно использование горячей воды, водяного пара, вторичных тепловых выбросов, а также теплоты, получаемой от когенерационных и тригенерационных установок. Применение АХМ позволяет не только повысить общую энергетическую эффективность объекта, но и снизить нагрузку на электрические сети в периоды пикового спроса на холод [3].

Наибольшее распространение в системах централизованного холодоснабжения и энергетических установках получили одноступенчатые абсорбционные машины на рабочей паре вода – бромид лития. Их преимуществами являются конструктивная отработанность, возможность работы на низкопотенциальной теплоте и сравнительно невысокое потребление электроэнергии вспомогательным оборудованием. Вместе с тем эффективность их применения определяется согласованностью параметров источника теплоты, охлаждающего контура и потребителя холода [4]. Поэтому уже на начальном этапе проектирования требуется инженерная оценка основных энергетических характеристик установки: холодильной мощности, тепловой нагрузки на генератор, количества отводимой теплоты и расходов теплоносителей по внешним контурам [5].

Целью настоящей работы является оценка параметров одноступенчатой абсорбционной холодильной машины для условий энергетического объекта при заданной холодильной мощности.

Основная часть. В качестве расчётной схемы в работе рассматривается одноступенчатая абсорбционная холодильная машина на рабочей паре вода – бромид лития. Выбор именно такой схемы обусловлен тем, что установки данного типа являются одними из наиболее распространённых в энергетических и коммунально-промышленных системах, где

имеется источник низкопотенциальной или вторичной теплоты. В подобных машинах вода выполняет функцию хладагента, а раствор бромида лития служит абсорбентом. Работа установки основана на том, что процесс получения холода обеспечивается не механическим сжатием хладагента, как в парокомпрессионных системах, а за счёт подвода теплоты к генератору и последующего протекания процессов десорбции, конденсации, дросселирования, испарения и абсорбции.

В качестве исходных данных была принята холодильная мощность установки 120 кВт. Данное значение можно рассматривать как характерное для локального энергетического объекта, где требуется обеспечить охлаждение воздуха, технологической среды либо отдельных элементов оборудования. Коэффициент преобразования АХМ был принят равным 0,72, что соответствует типичному уровню эффективности одноступенчатых литий-бромидных машин при работе в стандартных условиях. Дополнительно были заданы температурные графики по внешним контурам: для охлаждаемой воды – 12/7 °С, для греющей воды, подводимой к генератору, – 95/85 °С, для охлаждающей воды, обеспечивающей отвод теплоты от конденсатора и абсорбера, – 30/35 °С. Такой набор исходных параметров позволяет выполнить расчёт основных тепловых потоков и определить ориентировочные расходы воды по каждому из контуров.

На первом этапе была определена тепловая нагрузка на генератор. Поскольку коэффициент преобразования абсорбционной холодильной машины представляет собой отношение полезной холодильной мощности к теплоте, подводимой к генератору, требуемая тепловая мощность источника может быть найдена делением холодильной мощности на значение COP. При холодильной мощности 120 кВт и коэффициенте преобразования 0,72 расчётная нагрузка на генератор составила 166,7 кВт. Иными словами, для получения 120 кВт холода требуется подвести к генератору около 167 кВт тепловой энергии. Этот результат имеет принципиальное значение для энергетической оценки установки, поскольку именно он показывает минимальный уровень доступного теплового ресурса, необходимого для устойчивой работы АХМ в заданном режиме.

Следующим этапом была выполнена оценка суммарного потока теплоты, который должен быть отведён в окружающую среду через контур охлаждающей воды. В абсорбционной холодильной машине подведённая к генератору теплота и получаемая в испарителе холодильная мощность в конечном итоге превращаются в общий поток теплоты, удаляемый в конденсаторе и абсорбере. Поэтому в первом приближении этот поток может быть определён как сумма холодильной мощности и тепловой нагрузки на генератор. В рассматриваемом случае величина отводимой теплоты составила 286,7 кВт. Полученное значение показывает, что система охлаждения АХМ должна быть рассчитана на достаточно значительный тепловой поток, причём по абсолютной величине он существенно превышает полезную холодильную мощность установки. Это характерная особенность абсорбционных машин, которую необходимо учитывать при проектировании градирен, теплообменников и водооборотных контуров.

После определения основных тепловых потоков были рассчитаны расходы воды по внешним контурам. Для этого использовалось стандартное инженерное соотношение, связывающее тепловую нагрузку, теплоёмкость воды, температурный перепад и массовый расход. На стороне испарителя был определён расход охлаждаемой воды, для которой принят температурный график 12/7 °С, то есть перепад температур составил 5 °С. При таких условиях массовый расход охлаждаемой воды оказался равным 5,73 кг/с. Этот параметр характеризует пропускную способность контура холодоснабжения и может использоваться при выборе насосного оборудования, трубопроводов и теплообменных аппаратов потребителя холода.

Далее аналогичным образом был найден расход греющей воды, подводимой к генератору. Поскольку тепловая нагрузка генератора ранее была определена как 166,7 кВт, а температурный перепад в греющем контуре составляет 10 °С, расчётный расход горячей воды оказался равным 3,98 кг/с. Следовательно, для обеспечения стабильной работы АХМ необходим источник теплоты, способный подавать почти 4 кг/с воды температурного уровня

порядка 95 °С. Это может быть сетевая вода, вода от котельной, утилизированная теплота технологического процесса либо другой подходящий теплоноситель с близкими параметрами.

Наиболее значительным по расходу оказался контур охлаждающей воды, предназначенный для отвода теплоты из конденсатора и абсорбера. При суммарном тепловом потоке 286,7 кВт и температурном перепаде 5 °С расчётный расход охлаждающей воды составил 13,69 кг/с. Это значение заметно превышает расходы в двух других контурах, что объясняется необходимостью удаления не только теплоты, связанной с выработкой холода, но и всей теплоты, подведённой к генератору. С инженерной точки зрения именно охлаждающий контур во многом определяет габариты и эксплуатационные требования к системе, так как при недостаточной эффективности теплоотвода работа абсорбционной машины становится нестабильной, а её энергетические показатели ухудшаются.

Заключение. Проведённый укрупнённый расчёт позволил определить ключевые энергетические параметры одноступенчатой АХМ при заданной холодильной мощности 120 кВт. Было установлено, что для обеспечения такой холодопроизводительности требуется подвод к генератору 166,7 кВт теплоты, а суммарный поток теплоты, отводимый в систему охлаждения, достигает 286,7 кВт. При этом расходы воды по контурам составляют: для охлаждаемой воды 5,73 кг/с, для греющей воды 3,98 кг/с, для охлаждающей воды 13,69 кг/с. Полученные результаты дают возможность не только оценить энергетическую целесообразность применения АХМ, но и определить исходные требования к сопрягаемым системам энергетического объекта.

Список литературы

1. Florides G.A., Kalogirou S.A., Tassou S.A., Wrobel L.C. Design and construction of a LiBr–water absorption machine // Energy Conversion and Management. 2003. Vol. 44. No. 15. P. 2483–2508. DOI: 10.1016/S0196-8904(03)00006-2.

2. Tawalbeh M., Al-Othman A., Badran O., et al. Parametric Study of a Single Effect Lithium Bromide-Water Absorption Chiller Powered by a Renewable Heat Source // Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems. 2020. Vol. 8. No. 3. P. 504–519.

3. Marashli A., Alfanatseh Y., Qoaider L., et al. Modelling single-effect of Lithium Bromide-Water (LiBr–H2O) driven by an evacuated solar tube collector in Ma'an city (Jordan): case study // Case Studies in Thermal Engineering. 2022. Vol. 36. Art. 102200. DOI: 10.1016/j.csite.2022.102200.

4. Fischer Y.R., Dutra J.C.C., Rohatgi J. Thermodynamic modelling of a LiBr-H2O absorption chiller by improvement of characteristic equation method // International Journal of Refrigeration. 2020. Vol. 120. P. 420–429. DOI: 10.1016/j.ijrefrig.2020.08.021.

5. Talbi M.M., Agnew B. Exergy analysis: an absorption refrigerator using lithium bromide and water as the working fluids // Applied Thermal Engineering. 2000. Vol. 20. No. 7. P. 619–630. DOI: 10.1016/S1359-4311(99)00052-6.

UDC 621.57

ASSESSMENT OF THE ENERGY PARAMETERS OF AN ABSORPTION CHILLER

Zinurova K.I.

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russian Federation

Yakimov N.D. – Dr. of Phys.-Math. Sci., Professor, Professor of the Department of ATPP

Annotation. A simplified calculation of the parameters of a single-effect absorption chiller for an energy facility was carried out. The heat load on the generator, the amount of rejected heat, and the water flow rates in the external circuits were determined. The suitability of the absorption chiller for the utilization of low-grade heat was demonstrated.

Keywords: absorption chiller, energy facility, heat load, low-grade heat

УДК 004.92

ИГРОВАЯ ИНДУСТРИЯ КАК ПОМОЩНИК В ИЗУЧЕНИИ ИНЖЕНЕРНОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКИ

Михаленко Е.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Гиль С.В. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ИКГ

Аннотация. В статье исследуется влияние компьютерных игр на формирование базовых навыков пространственного восприятия и изучение основ 3D-моделирования. Особое внимание уделяется причинной обусловленности использования графических игр для обучения студентов вузов. Анализируются игры, способствующие развитию понимания чертежа, представления объектов «в объёме», проектирования механизмов. Отмечаются характерные особенности каждой игры с точки зрения изучения инженерной компьютерной графики.

Ключевые слова: компьютерные игры, пространственное видение, чертеж, проекции, 3D-моделирование, базовые навыки, инженерная компьютерная графика

Введение. С возникновением компьютеров появились и компьютерные игры. Исторически считается, что первая графическая игра была создана в 1952 году Александром С. Дугласом и имела название «OXO», также известная как «Крестики-нолики» [1]. Игра работала на огромном ламповом компьютере EDSAC (Electronic Delay Storage Automatic Calculator) и не была создана для развлечения. Дуглас создал её для своей кандидатской диссертации. «Крестики-нолики» должны были продемонстрировать возможности взаимодействия человека с вычислительной машиной.

Последующие 63 года шёл стабильный рост инноваций. На данный момент компьютерные технологии достигли такого уровня развития, что позволяют создавать игры с хорошим графическим и звуковым оформлением, в результате чего с каждым годом увеличивается количество заинтересованных лиц.

Основная часть. Большинство пользователей видеоигр – зуммеры в возрасте 18-23 лет (59%). Молодежь этого возраста чаще всего уже учится в высших учебных заведениях, где изложение теоретического учебного материала осуществляется во время лекционных занятий. Такой способ подачи информации имеет свои недостатки: монотонность, пассивность студентов и отсутствие интерактива [2].

Для лучшего усвоения информации человека нужно заинтересовать. В детстве мы приобретали знания с помощью взаимодействий с конструкторами или мягкими игрушками. В подростковом возрасте привычные игры сменились компьютерными. С целью заинтересовать нынешнее поколение, удачным вариантом станет новый формат обучения, совершенно другие методы проведения занятий. Для успешного вовлечения молодых людей в образовательный процесс, а также для улучшения обучения важно использовать компьютерные технологии, в частности 3D-моделирование.

Использование инфокоммуникационных технологий в учебном процессе можно рассматривать не только в качестве способа создания заинтересованности студента в обучении, но и как фактор, непосредственно влияющий на формирование пространственного воображения и мышления. В большей части высших технических учебных заведений изучают различные графические дисциплины в качестве базовых, составляющих основу инженерного образования. На начальном этапе изучения соответствующих дисциплин была выявлена проблема: значительному количеству обучающихся сложно представить, как будет выглядеть определённая деталь «в объёме», что приводит в дальнейшем к ошибкам при выполнении построений. В качестве одного из вариантов развития подобных навыков рассмотрим наиболее популярные на сегодня компьютерные игры и их содержательную часть.

Minecraft. Самой популярной игрой в этой сфере является «Minecraft». Он станет отличным помощником для тех, кто изучает создание механизмов или же находится на начальной стадии проектирования зданий. В данной игре представлен кубический мир, где человек может показать всю свою креативность: построить особняк или же воссоздать работающий компьютер. Каждый игрок может сначала спроектировать что-то, а затем

рассмотреть конструкцию с различных точек зрения для переноса её в дальнейшем из трёхмерного пространства в двухмерное.

Проектирование механизмов требует владения логическими и кинематическими схемами их создания, что в дальнейшем влияет и на формирование чертежа. В этом контексте Minecraft, хоть и не является профессиональным инструментом, становится ценным тренажером. Он способствует развитию инженерной интуиции, 3D-воображения и понимания структуры ключевых компетенций для успешного освоения инженерной компьютерной графики.



Рисунок 1 – Воссозданные в «Minecraft» «Тетрис» и «Змейка» с помощью механизмов

The Sims 4. Для профессиональной подготовки архитекторов, дизайнеров и планировщиков можно использовать «The Sims 4». В данной игре существует режим строительства, который позволяет создавать и украшать дома любой формы и стиля, обустраивать общественные заведения [3]. «The Sims 4» имеет встроенные функции масштабирования и панорамирования для рассмотрения любой детали экстерьера, а также имеет возможности для экспорта в AutoCAD или любую другую САПР, или непосредственно в бумажный вариант.

Игра легка в понимании и не требует дополнительного обучения. Она даёт свободную среду для создания макетов, позволяя творить без ограничений, а также экспериментировать с масштабами, стилями и планировкой. Всё это способствует формированию навыков и соответствующих умений непосредственно на практике, а не в виде теории.



Рисунок 2 – Построенный в “The Sims 4” дом и его чертёж

Fez. Можно заметить, что те студенты, которые занимались 3D-моделированием раньше, прекрасно владеют техникой создания электронного чертежа на занятиях по инженерной компьютерной графике. Этот процесс занимает у них меньше времени, чем у других; так как они, во-первых, понимают законы формообразования и, во-вторых, умеют анализировать конструкцию и видеть взаимосвязь её отдельных составляющих. Те студенты, которые никогда не имели дело с 3D-моделированием, испытывают особые трудности на практических занятиях, так как у них отсутствует базовые навыки создания связанных изображений – проекций и им сложно представить объект в пространстве. Для развития подобных навыков можно порекомендовать поиграть в «Fez». Здесь придётся смотреть на мир с различных точек

зрения для того, чтобы найти верный путь и завершить путешествие. Игра позволяет лучше понять принцип формирования проекций (фронтальной, горизонтальной, профильной), а также развить пространственное видение и мышление.

Space Engineers. Для закрепления полученных знаний и дополнительной практики помимо рассмотренных ранее видеоигр студент может попробовать себя в «Space Engineers». Здесь представлен огромный открытый мир, где возможно создание любого изобретения. В игре присутствует реалистичная физика: каждый предмет обладает массой и инерцией и может по-настоящему разрушиться. Абсолютно всё здесь можно изменить в соответствии с запросами пользователя, например, походить по созданной в редакторе космической станции.

Компьютерные игры формируют интерес молодого поколения к изучению 3D-моделирования: у многих появляется желание создать свою игру, свою 3D-модель, придать ей форму. Заинтересованность приводит к тому, что подростки начинают осознанно углубляться в эту сферу. Это может происходить самостоятельно, на основании видеообзоров профессиональных пользователей или личных экспериментов, либо же с помощью определённых практических курсов или школ. Для этого в свободном доступе находится программа Blender [4], дальше человек может перейти на ZBrush [5] и так далее.

Заключение. Компьютерные игры являются вспомогательным инструментом, который помогает развить у обучающихся базовые навыки, необходимые для освоения инженерной компьютерной графики. Студенты тренируют пространственное воображение, способность мысленно представлять объекты в виде наглядных аксонометрических моделей; в развлекательном режиме знакомятся с основами конструирования механизмов, а также с азами проектирования зданий. Игры не заменяют профессиональных САПР, таких как AutoCAD, Inventor или T-Flex CAD, полученные навыки и умения обучающиеся трансформируют и развивают в дальнейшем на более высоком уровне в освоении инженерной компьютерной графики и других инженерных дисциплин на специализированных кафедрах.

Список литературы

1. *Исторические материалы о компьютерных играх 50-х [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://videogamehistorian.wordpress.com/2014/01/22/the-priesthood-at-play-computer-games-in-the-1950s/. Дата доступа: 03.03.2026.*

2. *Официальный сайт журнала «Концепт» [Электронный ресурс]. Режим доступа:* https://e-koncept.ru/2016/56397.htm*. Дата доступа: 03.03.2026.*

3. *Официальный сайт Electronic Arts [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.ea.com/ru/games/the-sims/the-sims-4/new-player-hub/build-mode. Дата доступа: 03.03.2026.*

4. *Официальный сайт Blender [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.blender.org/. Дата доступа: 03.03.2026.*

5. *Официальный сайт ZBrush [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.zbrushcentral.com/. Дата доступа: 03.03.2026.*

UDC 004.92

THE GAMING INDUSTRY AS AN ASSISTANT IN THE STUDY OF ENGINEERING COMPUTER GRAPHICS

Mikhalenko K.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Hil S.V. – Cand. Of Sci., associate professor, associate professor of the department of ECG

Annotation. The article examines the influence of computer games on the formation of basic spatial perception skills and the study of the basics of 3D modeling. Special attention is paid to the causality of the use of graphic games for teaching university students. The games that contribute to the development of understanding of the drawing, representation of objects «in volume», and mechanism design are analyzed. The characteristic features of each game are noted from the point of view of studying engineering computer graphics .

Keywords. Computer games, spatial vision, drawing, projections, 3D modeling, basic skills, engineering computer graphics

УДК 004.8:004.94

ПРОБЛЕМЫ ГЕНЕРАЦИИ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ИНЖЕНЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ

Шибаев И. С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Столер В. А. - к.т.н., доцент, профессор кафедры ИКГ

Аннотация. Рассмотрена задача генерации инженерных 3D-моделей по текстовому описанию. Показано, что прямой синтез mesh-, voxel– и implicit-представлений не обеспечивает метрическую точность и редактируемость, необходимые в CAD. Предложена гибридная архитектура Parametric, в которой запрос преобразуется в параметрический CAD-скрипт, проходит геометрическую проверку и только затем экспортируется. На тестовой выборке из 50 запросов 42 модели (84 %) были скомпилированы с первой попытки; средняя абсолютная ошибка размеров составила 0,74 мм, а среднее время генерации – 1,8 с.

Ключевые слова: глубинное обучение, CAD, параметрическое моделирование, B-Rep, text-to-CAD, геометрическая валидация, CadQuery, OpenSCAD.

Введение. Актуальность темы определяется ростом интереса к системам, которые создают 3D-объекты по текстовому запросу. Для инженерной практики визуальная правдоподобность недостаточна: деталь должна быть замкнутой, размерно корректной, параметризуемой и пригодной к дальнейшему редактированию. Именно здесь возникает разрыв между генеративными моделями и CAD-логикой.

Проблема состоит в том, что нейросеть обычно оперирует вероятностным представлением формы. Даже при хорошем внешнем сходстве она не гарантирует соблюдение диаметра отверстия, толщины стенки, расстояний до кромок и других ограничений. Поэтому прямой переход от текста к mesh-модели приводит к ручной доработке и потере времени.

Цель работы – определить ограничения прямой генерации инженерной геометрии и показать, как гибридная схема может перенести контроль качества в детерминированную среду CAD-ядра. Для этого были сопоставлены особенности raster-, voxel-, mesh– и параметрического представлений, рассмотрены типовые ошибки генерации и реализован прототип системы Parametric.

Практическая ценность подхода связана с возможностью быстро получать параметрические заготовки типовых деталей: пластин, фланцев, кронштейнов, валов и корпусов. В отличие от чисто визуальных генераторов, такая схема оставляет модель редактируемой и позволяет повторно использовать шаблоны в учебных и прикладных задачах.

Основная часть. В CAD-моделировании объект описывается не только поверхностью, но и топологией, историей построения и набором ограничений. Для инженерного использования важны B-Rep-структуры, эскизы, операции выдавливания, вращения, скругления и отверстия, поскольку они сохраняют связь между размерами и элементами модели.

Mesh– и voxel-представления удобны для визуализации, но не отражают замысел конструктора. После генерации треугольной сетки сложно изменить один размер так, чтобы автоматически перестроились зависимые элементы. Поэтому для САПР предпочтительнее параметрическая схема, в которой одна переменная корректирует всю цепочку зависимостей.

Отсюда следует ключевой вывод: для инженерных задач генератор должен не рисовать форму, а формировать исполнимое описание построения. Такой подход облегчает валидацию, экспорт и последующую модификацию без повторного запуска полного синтеза.

Архитектура Parametric представляет собой конвейер, в котором каждый последующий блок сужает пространство возможных решений, исключая генерацию геометрически некорректных или нередактируемых моделей. Система состоит из четырех основных модулей, взаимодействующих через формализованный протокол обмена данными.

Модуль анализа естественного языка (NLU) выполняет глубокую лингвистическую и семантическую обработку входного запроса. Помимо базового выделения сущностей (NER), он содержит специализированный слой инженерной семантики. В случае обнаружения неполных данных (например, «отверстие М6 без указания глубины») модуль инициирует условный вывод, подставляя значения по умолчанию из библиотеки типовых решений: для резьбы М6 глухого отверстия принимается глубина, равная 1,5 диаметра, то есть 9 мм. Словарь синонимов позволяет распознавать такие конструкции, как «фаска 1х45°» или «радиус скругления R2», даже если они записаны в сокращенной форме.

Генератор параметрических скриптов является центральным элементом архитектуры. Он преобразует структурированное представление, полученное от NLU-модуля, в исполнимый код на языке CadQuery (с возможностью фолбэка на OpenSCAD). Генератор использует шаблоны, типизированные по классам деталей. Каждый шаблон содержит параметрическую модель и набор правил вывода зависимостей. Если запрос содержит противоречивые параметры, генератор не выдает код, а возвращает в модуль NLU структурированное сообщение об ошибке, предлагая скорректировать либо диаметр окружности, либо размер отверстий.

Геометрический валидатор работает в среде CAD-ядра и выполняет детерминированные проверки уже после построения тела. Валидация включает: manifold-проверку, анализ толщины стенок, проверку пересечений, а также размерную верификацию. Если модель не проходит проверку, валидатор отправляет в генератор скриптов метаданные о конфликтной зоне, после чего выполняется повторный синтез с измененными параметрами.

Экспортер формирует итоговый результат. В зависимости от настроек системы или специфики запроса (наличие указания на формат в тексте, например «сохранить как STEP») экспортер генерирует файлы в форматах STEP (для передачи в промышленные CAD-системы), STL (для 3D-печати) или DXF (для плоских разверток). Контур обратной связи между модулями позволяет достичь высокой степени автономности: для 84% запросов из тестовой выборки цикл «анализ – генерация – валидация – экспорт» проходил без внешнего вмешательства.

Прототип реализован на Python с использованием CadQuery и OpenSCAD. В парсере запросы нормализуются к миллиметрам, а также распознаются сокращения вида D, d, Ø, R, M6 и т. п. Для этого применяется набор регулярных правил и словарь инженерных синонимов, что позволяет обрабатывать как формальные, так и полуформальные формулировки.

На тестовой выборке из 50 запросов система показала следующие результаты: 42 запроса (84 %) были скомпилированы без ручных правок, 5 запросов потребовали уточнения единиц измерения, а 3 – исправления геометрических конфликтов. Средняя абсолютная ошибка размеров составила 0,74 мм, среднее время генерации – 1,8 с. Наиболее устойчиво обрабатывались валы, фланцы и крепеж.

Сравнение с прямой mesh-генерацией показывает, что Parametric проигрывает по скорости на небольших запросах, но заметно выигрывает по точности и редактируемости. Для инженерной задачи это важнее: лучше получить модель на несколько десятых секунды позже, но без самопересечений, неверных допусков и ручной правки.

Таблица 1 – Количественное сравнение подходов к генерации инженерных моделей по результатам тестовой выборки из запросов.

Показатель	**Прямая генерация mesh**	**Parametric**
Успешность компиляции, %	58	84
Средняя абсолютная ошибка, мм	1,92	0,74
Среднее время генерации, с	1,2	1,8
Прохождение manifold-проверки, %	52	76

Полученные данные подтверждают, что качество растет, когда запрос удается свести к набору параметров и стандартных операций. Именно поэтому система лучше работает с теми изделиями, где можно явно описать размеры, число отверстий, толщину, радиусы и тип соединения.

Основное ограничение связано с неоднозначностью естественного языка. Один и тот же фрагмент текста может допускать несколько геометрических интерпретаций, особенно если

отсутствуют единицы измерения или не указана система отсчета. В таких ситуациях модуль уточнения должен запрашивать дополнительные данные, а не строить произвольную модель. Второе ограничение относится к библиотеке шаблонов. Чем сложнее деталь, тем больше взаимосвязанных параметров и выше риск конфликта между ними. Поэтому архитектура Parametric лучше всего подходит не для полной замены CAD-инженера, а для ускорения рутинного этапа подготовки типовых моделей.

Заключение. Проведенный анализ показал, что прямой синтез 3D-геометрии по тексту удобен для визуализации, но недостаточен для инженерного проектирования. Главные проблемы – размерная неопределенность, топологические дефекты и отсутствие параметрической истории. Разработанная архитектура Parametric переносит генерацию из пространства полигональной формы в пространство исполнимого CAD-кода. Это позволяет проверять модель до экспорта, уменьшать число ручных исправлений и получать повторяемый результат на типовых деталях. Тестирование на 50 запросах подтвердило работоспособность схемы: 84 % запросов были собраны без правок, а средняя размерная ошибка не превысила 0,74 мм. Для дальнейшего развития наиболее полезны расширение библиотеки шаблонов, поддержка сборок и более точное извлечение инженерных сущностей из текста.

Список литературы

1. *Пул, Б. Трехмерное моделирование по текстовому описанию с использованием диффузионных моделей / Б. Пул, А. Джейн, Дж. Т. Бэррон, Б. Милденхолл // Информационные технологии. – 2023. – Т. 29, № 4. – С. 189–202.*

2. *Никол, А. Генерация трехмерных облаков точек на основе сложных текстовых описаний / А. Никол, Х. Джун, П. Дхаривал, П. Мишкин, М. Чен // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. – 2023. – № 5. – С. 74–91.*

3. *Джун, Х. Shap-E: генерация условных неявных 3D-функций / Х. Джун, А. Никол // Труды Института системного программирования РАН. – 2024. – Т. 36, № 2. – С. 121–136.*

4. *Хуань, М. С. Текстовая генерация параметрических CAD-моделей / М. С. Хуань [и др.] // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2025. – Т. 25, № 1. – С. 45–58.*

5. *Открытые системы автоматизированного проектирования: учебное пособие по OpenSCAD / под ред. А. В. Петрова. – М.: ДМК Пресс, 2024. – 312 с.*

6. *Программирование параметрических моделей в CadQuery: практикум / С. В. Кузнецов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2023. – 208 с.*

7. *Генеративный дизайн в Autodesk Fusion 360: методы и алгоритмы / Д. И. Смирнов, Е. А. Коваленко // САПР и графика. – 2024. – № 8. – С. 28–34.*

УДК 004.8:004.94

PROBLEMS OF GENERATING PARAMETRIC ENGINEERING MODELS

Shibaev I.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Supervisor: Stoler V.A., Cand. of Tech. Sci., Professor

Annotation. The paper studies text-driven generation of engineering 3D models. Direct synthesis of mesh-, voxel-, and implicit representations is shown to be insufficient for CAD tasks because it does not guarantee metric accuracy or editability. A hybrid Parametric architecture is proposed, where a user prompt is converted into a parametric CAD script, validated geometrically, and exported only after the checks pass. On a test set of 50 requests, 42 models (84 %) were compiled on the first attempt; the mean absolute dimensional error was 0.74 mm and the average generation time was 1.8 s.

Keywords: deep learning, CAD, parametric modeling, B-Rep, text-to-CAD, geometric validation, CadQuery, OpenSCAD.

СЕКЦИЯ
«ИНОСТРАННЫЕ ЯЗЫКИ»

UDC 621.3.049.77 : 621.396.62

DESIGN OF 2.4 – 2.5 GHz RECEIVER WITH AUTOMATIC GAIN CONTROL SYSTEM

Chertoritskii I.G.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Klokova A. G. – Cand. Of Sci., Associate Professor, Head of the Department of Foreign Languages
Buhtojarov S.E. – Cand. Of Sci., Associate Professor, Lead Software Engineer, MicroDesign LLC

Annotation. This paper presents the design of Radio Frequency Receiver with Automatic Gain Control System. The integrated AGC system increased the receiver's dynamic power range on 15 dBm. The frequency range of 2,4 – 2,5 GHz finds application in RFID chips, in IoT devices and in modern wireless network systems, such as Wi-Fi, Bluetooth and others.

Keywords: radio frequency RF, wireless communication, integrated receiver, AGC system

Introduction. Incredible improvement of wireless technologies stimulates enhancing of RF receivers to establish the fastest and the reliable data transformation. In a common radio environment, a receiver must handle a massive range of signal strengths, typically spanning 70 dBm to over 100 dBm of variation. This factor requires feedback system, which corrects gain depending on the level of input signal. This part can be implemented by Automatic Gain Control (AGC) system. The system extends dynamic range of receiver by adjusting gain of LNA so, that sensitivity of the system is maximized in case of absence of interference in receive channel, while if interferer is there, AGC improves systems linearity.

This paper presents the design and simulation of integrated RF receiver with AGC system including its operation in situation of frequently changing signals.

The typical architecture of receiver block. Next, the design and performance of receiver is discussed. The typical architecture of receiver is presented in Figure 1.

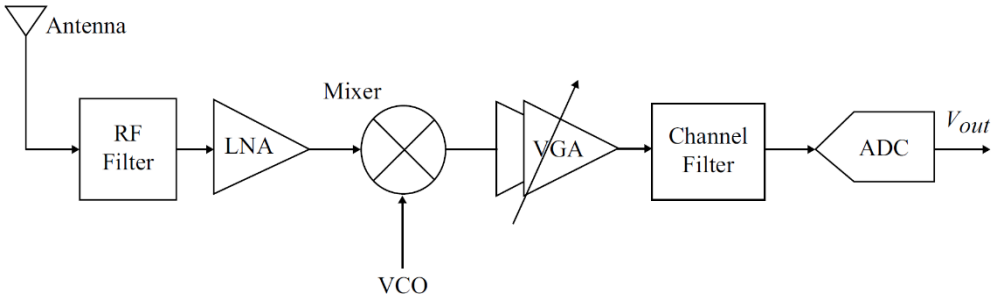


Figure 1.1 – The typical architecture of receiver [1]

This is a superheterodyne receiver architecture, which was invented decades ago, is still the most popular architecture in modern RF receivers [2]. It includes Antenna, RF Filter, Low-Noise Amplifier (LNA), Mixer, Automatic Gain Control System (it can be implemented as Variable Gain Amplifier), Channel Filter and Analog-to-Digital Converter (ADC). In this paper we will concentrate on three of them: LNA, Mixer and AGC system.

Low Noise Amplifier. The role of LNA is to boost the received signal a sufficient level above the noise floor so that it can be used for additional processing [3]. This block is the first of the receiver and therefore its Noise Figure (NF) directly limits the sensitivity of the receiver. NF is a relative parameter, which shows the degradation of Signal to Noise Ratio (SNR) after its passing through the electric block. In radio terms, if a signal is weaker than the noise floor, it is effectively lost, regardless of how much gain you add later. Also, the linearity of LNA is essential, because it defines the LNA's ability to handle strong signals without distortion.

The impact of LNA as the first cascade, may be demonstrated by the "Friis' equation". According to it, the noise contributed by each stage decreases as the total gain preceding that stage

increases, implying that the first few stages in a cascade are the most critical [4]. It can be calculated by the formula:

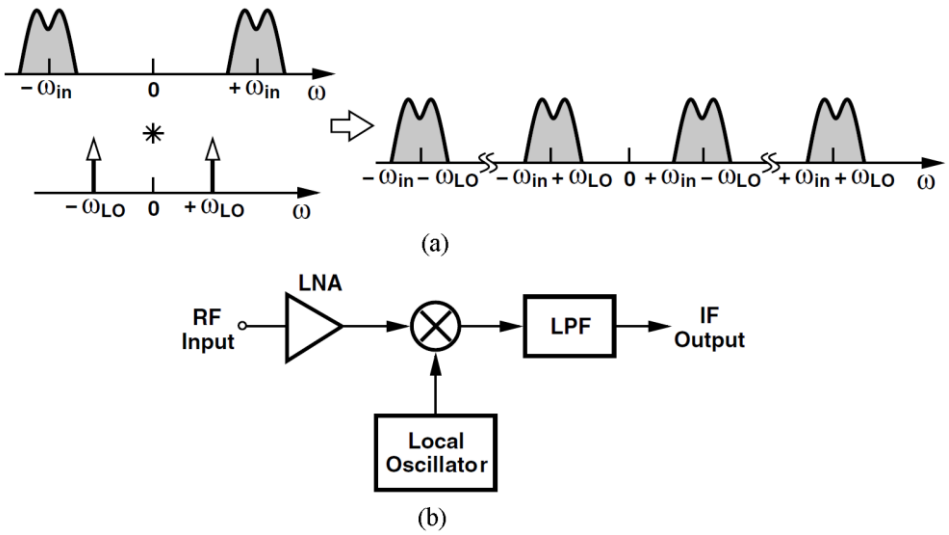
$$NF_{tot} = 1 + (NF_1 - 1) + \frac{NF_2 - 1}{A_{P1}} + \cdots + \frac{NF_m - 1}{A_{P1} \cdots A_{P(m-1)}}, \quad (1.1)$$

where *NF* – Noise Figure, which represents the level of the block;

A_P – Gain of the block.

This equation suggests, that the LNA affects other blocks of the receiver. Conversely, if a stage suffers from attenuation (loss), then the NF of the following circuits is "amplified" when referred to the input of that stage [4]. In other words, as every block increases the overall gain, noise and distortions of the signal are also amplified and affect the performance of the system. That's why the parameters of LNA as the first block of the receiver are so essential. However, the Design of an LNA typically consists of trade-off between Noise Figure (NF) and Gain while designing at the required stability.

Mixer. If we are talking about wireless communications, the transferred data signals usually lie in Radio Frequency (RF) range. However, it is technically difficult and expensive to design blocks that operate in this range (mostly in GHz). So, converting the signal to a lower Intermediate Frequency (IF) allows more efficient and stable processing. For this purpose, downconversion mixer is usually used, which main role is to perform frequency translation by multiplying input signal with so called LO signal, usually generated by local on-chip oscillator (the oscillator is out of scope of our discussion). Due to multiplication of signals with different frequencies, we get two combinations with sum and difference of two frequencies (Figure 1.2(a)). The components at $\pm(\omega_{in} + \omega_{LO})$ are not of interest and are removed by the low-pass filter (LPF), leaving the signal at a center frequency of $\omega_{in} - \omega_{LO}$. This operation is called "downconversion mixing" or simply "downconversion." Due to its high noise, the downconversion mixer is preceded by a low-noise amplifier (Figure 1.2 (b)).



(a) – resulting spectra after conversion; (b) – The "Conversion block"

Figure 1.2 – The performance of downconversion mixer [4]

In receiver design, the mixer acts as a "bridge" between the high-frequency signals and lower-frequency processing stages. So, its performance directly dictates the sensitivity and linearity of the entire system. Because the Mixer typically follows the LNA, which provides significant gain, it is usually exposed to much higher power levels, making it the primary bottleneck for intermodulation distortion. This statement represents by the next formula [4]:

$$\frac{1}{{A_{IP3}}^2} \approx \frac{1}{{A_{IP3,1}}^2} + \frac{{A_{P1}}^2}{{A_{IP3,2}}^2}, \quad (1.2)$$

where A_{IP3} – linearity of the specific block;

A_{P1} – gain of the LNA.

So, the equation (1.2) suggests, that the gain of LNA affects the signal level seen by Mixer at input and thus its linearity, which limits linearity of the whole system. So, because the mixer is the bottleneck for linearity, improving mixer's IP3 (interception point on 3 dB) is the only way to maintain high dynamic range without sacrificing receiver's linearity.

***Automatic Gain Control system*.** The AGC block is responsible for varying the gain due to input signal, forming the feedback loop.

The AGC function can mainly be implemented in two different ways according to the signal which senses the amplitude and adjusts the gain correspondingly. If the input VGA signal is used, the AGC loop moves forward in the receiver signal direction, so this loop is called "feedforward loop". On the other hand, if the output VGA signal is sensed, the AGC loop moves backwards in the signal direction. This loop is called "feedback loop". Both structures are drawn in Figure 1.3. Between both loop structures, the feedback one is the most popular when designing AGCs since it provides higher linearity and requires narrower dynamic range (DR) in the detector [1].

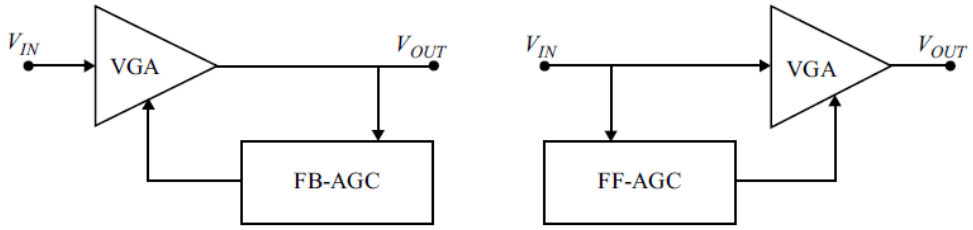


Figure 1.3 – Feedback and Feedforward AGC architectures [1]

In a receiver, an Automatic Gain Control (AGC) block is essential for maintaining a stable output signal despite wide fluctuations in the strength of the incoming radio signal. Without it, the output (such as audio volume) would constantly change as you tune to different stations or as environmental conditions fluctuate. When a strong signal is received, AGC reduces the gain to prevent internal circuits from saturating or «clipping», which would otherwise cause harsh distortion.

For weak signals, AGC increases gain to boost them above the receiver's internal noise floor, ensuring clear reception.

The performance of the AGC system can be described in the following steps. Detector stage (Power Detector, PD) monitors the average or peak strength of the signal at the output. Then it generates a DC control voltage proportional to the signal's strength. And finally, this voltage is fed back to earlier LNA stage to automatically increase or decrease their gain as needed.

***The design of the receiver*.** This chapter represents the design of the receiver. Technical specification of the receiver is presented in Table 2.1.

Table 2.1 – Technical specification of the project

Parameter	**Value**	**Units**
Voltage supply (V_{dd})	1,8	V
Frequency operation range	2,4 – 2,5	GHz
Central frequency	2,45	GHz
Intermediate frequency (IF)	1	MHz
Maximum gain	20	dB
Current consumption	≤ 10	mA
IIP3 (linearity)	≥ −10	dBm
Noise Figure (system)	≤ 8	dB
Noise Figure (LNA)	≤ 2	dB
AGC bit depth	3 (8 steps)	bit

The proposed design of the receiver is presented in Figure 2.1. Actually, this system is divided into four blocks: Power Detector, Low-Pass Filter, Comparator Block and AGC Block. The performance of the majority of blocks was described higher. Here we will concentrate on the AGC and Comparator blocks.

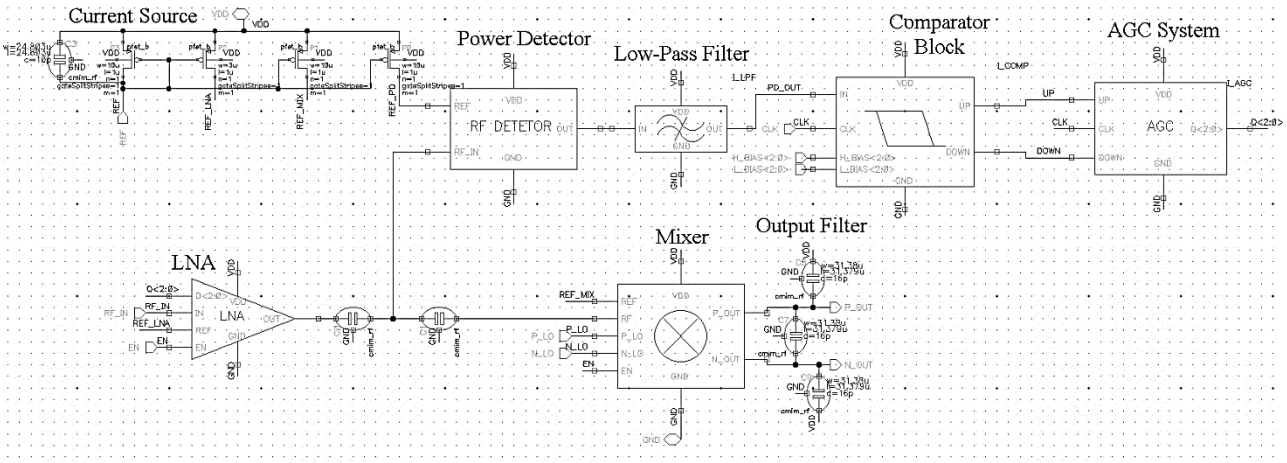


Figure 2.1 – The proposed design of receiver

The comparator block forms two output signals according to the result of comparison: if signal is higher than programmed threshold, it creates “DOWN” signal, if too small – “UP” signal. And finally, the AGC system creates 3-bit digital code, which manipulates the LNA’s gain. At the beginning of operating digital code is “000” what corresponds to the smallest gain. And then with each clock cycle the system either changes the digital code or keeps it unchanged.

The parameters of the simulation are following. Frequency of the output signal is 5 MHz and the clock’s frequency is 10 MHz. During the simulation the input signal is changing from –50 dBm to −30 dBm with step of 5 dBm every 500 ns. It’s essential to simulate the dynamic changing input signal, which often occurs in real use cases.

The results of TRAN-analysis are presented in Figure 2.2. Here we can see the response of the receiver to dynamically changing input signal. Depending on the output power detector’s signal “PD_OUT”, there is changing of the digital code from outputs Q0 – Q2. If the detector’s signal lower than low threshold, the comparator block generates the “UP” signal, during which the LNA’s gain is increasing until the maxim value “111”. When the signal is between two thresholds, the gain value keeps the same. And when the detector’s output signal reaches the high threshold, the gain of amplifier starts decreasing.

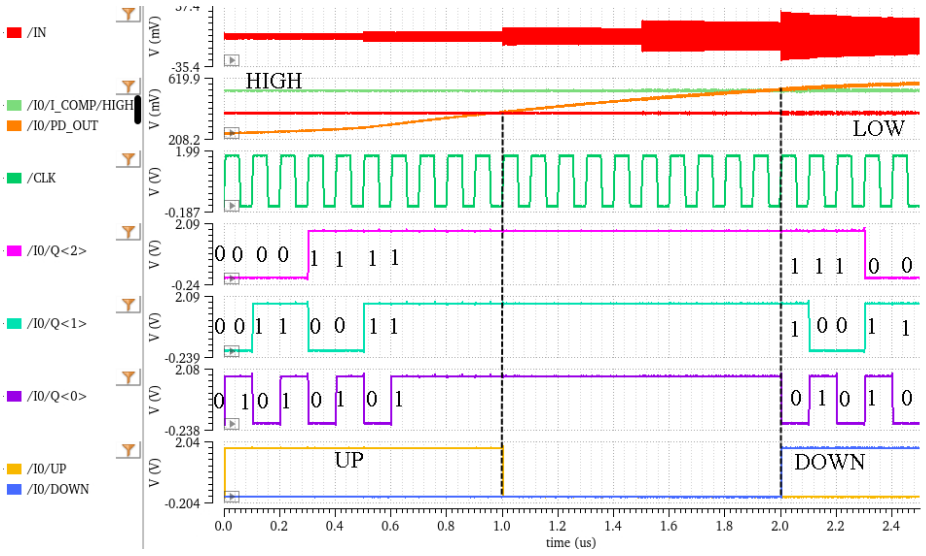


Figure 2.2 – The results of TRAN-analysis

To make sure, that amplifier’s gain is really changing, we can look at the output signal, which is presented in Figure 2.3.

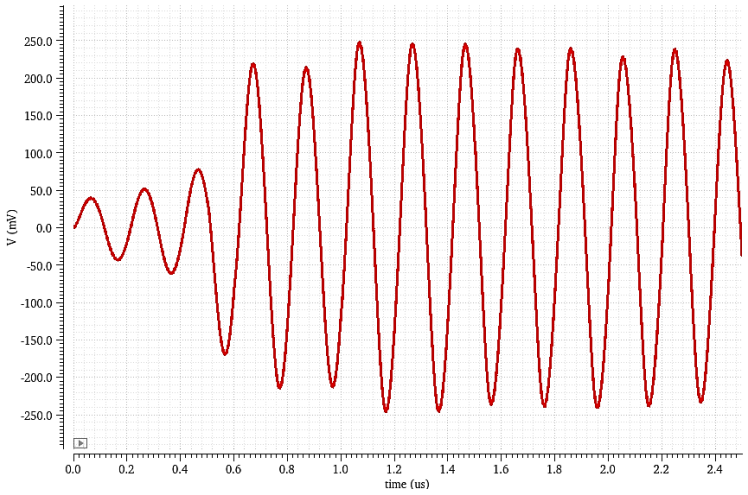


Figure 2.3 – The output signal of the receiver system

In this figure we can see changing of the output signal. Before 500 ns the output signal is changing with LNA's gain. Then the signal is increasing due to the higher input signal and at some moment it's stabilized. So, according to Figures 5 and 6 we can conclude, that the receiver's AGC block operates correctly.

The parameters of the receiver are presented in Table 2.2 (the analysis of corners isn't included).

Table 2.2 – Parameters of the receiver

Parameter	**Value**		**Units**
	min	**max**	
Gain	5,5	20,14	dB
Current consumption	10,6	10,8	mA
IIP3 (system)	− 31(high gain)	− 9,15 (low gain)	dBm
IIP3 (LNA)	− 22,4 (high gain)	− 13,5 (low gain)	dBm
Noise Figure (system)	5,5 (high gain)	7,5 (low gain)	dB
Noise Figure (LNA)	1,82 (high gain)	1,86 (high gain)	dB

According to table 2.2 we can conclude, that the receiver operates as desired and the dynamic power range was enhanced on 15 dBm, because the difference between maximum and minimum gains is about 15 dB.

Conclusion. This paper provided design of the receiver with AGC system. The main difference between our design and the classic superheterodyne receiver architecture is that instead of VGA Block we used LNA with variable gain, what improves the linearity of the receiver system.

The performance of the receiver in dynamic conditions was analyzed. LNA's gain is increasing when it's lower than low threshold, decreasing when the signal is over the high threshold and don't change when it's between two of threshold. According to the results, we can conclude, that the receiver system and AGC Block are operating correctly and that due to AGC system the dynamic range of the receiver was increased.

References

1. *Juan, P. Automatic Gain Control. Techniques and Architectures for RF recievers / Pablo Juan [et al.] // Analog Circuits and Signal Processing – Spain, 2011. – 134 p.*

2. *CMOS RF Receiver System Design: A Systematic Approach / Wenjung Sheng, Ahmed Emira and Edgar Sanchez-Sinencio // IEEE Transactions on circuits and systems – May, 2006. – Vol. 53, N 5. – Pp. 1023–1034.*

3. *Wai-Kai, C. The Electrical Engineering Handbook / Elsevier Academic Press – USA, 2005 – 1208.*

4. *Razavi, B. RF Microelectronics / Prentence Hall – USA, 2011 – 946 p.*

UDC 621.793.184

INFLUENCE OF PRETREATMENT METHODS ON THE FORMATION OF THIN-FILM NICKEL ELECTRODES FOR CAPACITIVE SENSORS

Panfilenko E.D., Provlockaya D.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Klokova A. G. – Cand. Of Sci., Associate Professor, Head of the Department of Foreign Languages

Kotov D.A. – Cand. Of Sci. (Tech.), Associate Professor, Department of Micro– and Nanoelectronic

Annotation. The paper investigates the influence of pretreatment methods for sitall ST-50-1-1-0,6 substrates surface on the subsequent formation of thin-film nickel electrodes for capacitive sensors for heavy metal ions detection in water. A comparison of two cleaning methods was carried out: ion-beam cleaning in vacuum and treatment in a dielectric barrier discharge plasma torch at atmospheric pressure. Optimal cleaning regimes ensuring maximum adhesion and quality of the formed films were established. Nickel films with a thickness of 100 nm were obtained by ion-beam sputtering; their optical properties and surface morphology were studied.

Keywords: thin films, nickel, sitall, ion-beam sputtering, atmospheric pressure plasma, surface cleaning, capacitive sensors.

Introduction. Rapid population growth and industrial development lead to pollution of water resources with heavy metals (Hg^{2+}, Pb^{2+}, Cu^{2+}, etc.), which are characterized by persistence and bioaccumulation ability. Existing analytical methods (liquid chromatography, atomic absorption) have high sensitivity but require complex sample preparation and expensive equipment. An alternative is electrochemical sensors that provide rapid real-time analysis [1].

The quality of thin-film electrodes for such sensors critically depends on the substrate surface condition before deposition. The presence of contaminants and oxides degrades adhesion and stability of characteristics. Surface cleaning in intense ion beams allows obtaining an atomically clean surface, removing both physical and chemical contaminants, and simultaneously activates the surface, improving adhesion of the deposited coating [2].

The aim of this work is to study the influence of pretreatment methods (ion-beam in vacuum and atmospheric pressure plasma) on the properties of sitall substrates and the subsequent formation of thin-film nickel electrodes by ion-beam sputtering.

Experimental Methods. Sitall ST-50-1-1-0,6 was used as substrate material, and nickel as electrode material. The choice is justified by the proximity of thermal expansion coefficients (TEC of nickel $1.5 \cdot 10^{-6}$ 1/°C, TEC of sitall $0.5–3 \cdot 10^{-6}$ 1/°C) and high chemical resistance of sitall, as well as the optimal combination of corrosion resistance, resistivity, and cost of nickel [3].

Substrate pretreatment was carried out by two methods:

Ion-beam cleaning in vacuum – in a modified VU-1BSp setup with an ion source based on an anode layer accelerator. Cleaning regime: argon flow rate – 1.24 l/h, voltage – 2220 V, current – 32 A, power – 50 W, distance to substrate – 200 mm, treatment time varied from 15 to 960 s.

Atmospheric pressure plasma cleaning – in a dielectric barrier discharge plasma generation system of coaxial type. Cleaning regime: argon flow rate – 142 l/h, distance to substrate – 10 mm, treatment time – 15–120 s.

Formation of nickel thin films was carried out by ion-beam sputtering in the VU-1BSp setup. Deposition regime: preliminary pressure in the chamber – $4 \cdot 10^{-3}$ Pa, working pressure – $2 \cdot 10^{-2}$ Pa, argon flow rate – 0.34 l/h, source voltage – 3240 V, discharge current – 42–52 mA, distance from target to substrate – 200 mm, deposition time – 60 min.

The following methods and equipment were used for research:

– spectrophotometer MS-122 (measurement of reflection coefficient in the range 330–1100 nm);

– atomic force microscope NT-206 (surface morphology);

– sessile drop method using a Lenpipet LAIT dispenser (contact angle, liquid – distilled water).

Effect of Cleaning on the Reflection Coefficient of Sitall. Figure 1 shows the dependences of the reflection coefficient of sitall substrates on wavelength for different treatment times with ion source and atmospheric pressure plasma.

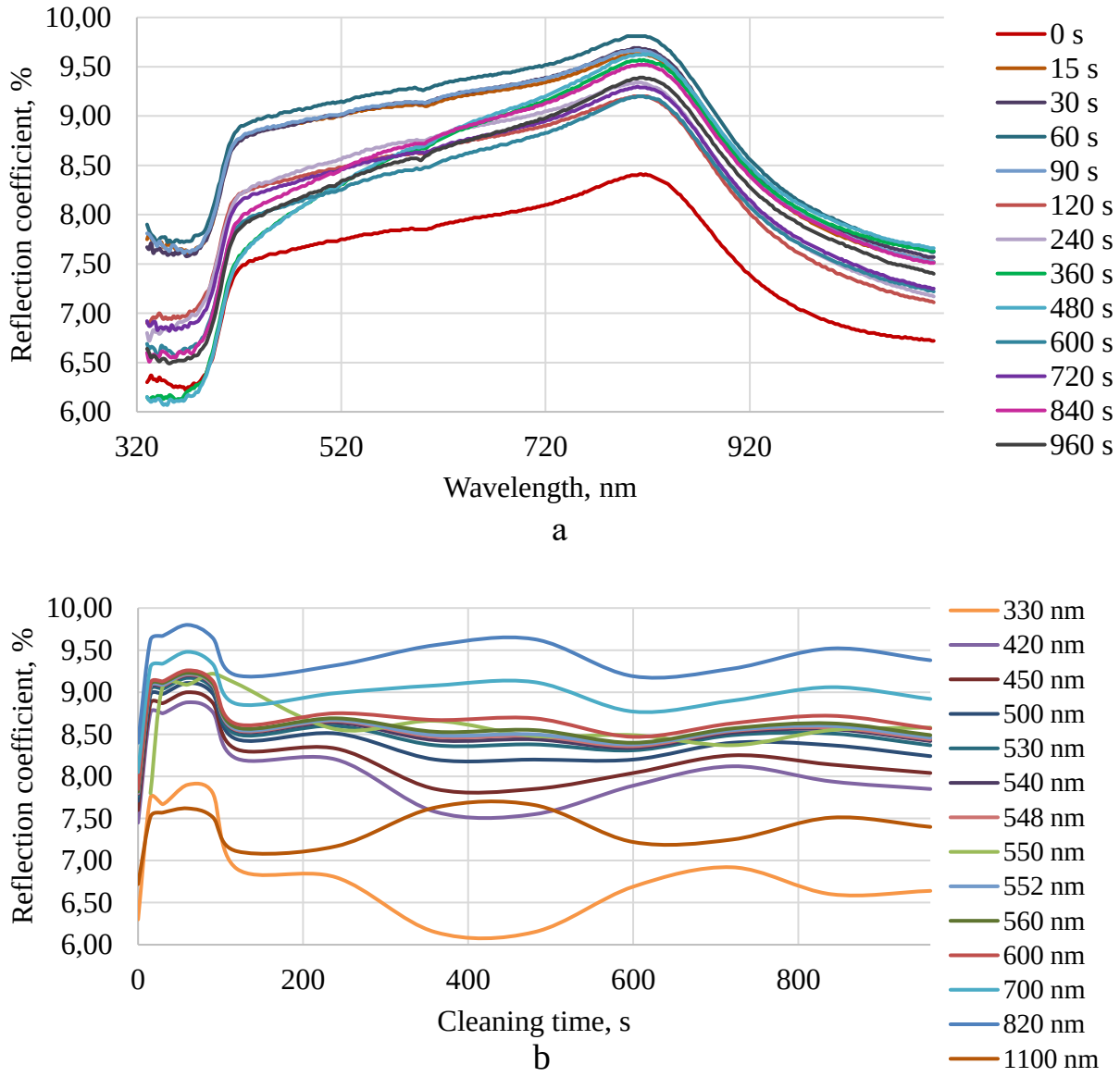


Figure 1 – Dependence of reflection coefficient on wavelength at different cleaning times: a) ion source; b) atmospheric plasma

Analysis of the spectra shows that the initial surface (0 s) has low reflectivity (6.2–8.4 %), which is associated with the presence of contaminants and oxide films. Dusring ion-beam cleaning, the most significant change is observed in the first 60 seconds: the reflection coefficient at a wavelength of 820 nm increases from 8.4 % to 9.8 %. Further treatment (up to 960 s) leads to a slight decrease in reflectivity, indicating saturation and possible onset of etching of the glazed sitall layer.

During atmospheric pressure plasma cleaning, an increase in the reflection coefficient is also observed, with maximum values achieved at 120 s of treatment (from 7.11 % to 9.02 %). However, unlike ion cleaning, plasma treatment does not cause significant changes in surface morphology (confirmed by AFM data, not shown).

Effect of Cleaning on Surface Wettability. To assess adhesive properties, the contact angle was measured using the sessile drop method. The results are presented in Table 1 and Figure 2.

Table 1 – Dependence of contact angle on cleaning time

Cleaning time, s	**Contact angle (ion source), °**	**Contact angle (atmospheric plasma), °**
0	69,52	69,52
15	24,05	9,16
30	18,69	7,27
60	11,91	6,6
90	13,72	5,75
120	14,23	4,48

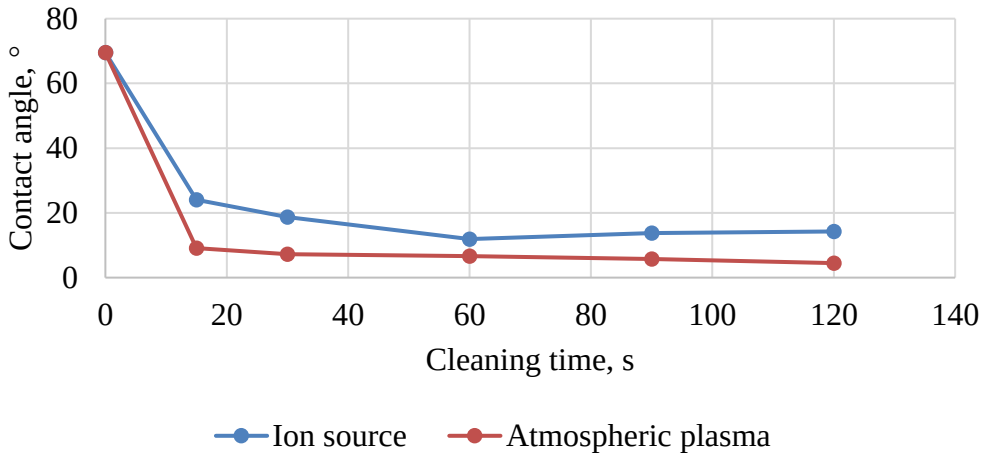


Figure 2 – Dependence of contact angle on cleaning time

The initial contact angle is 69.52°, corresponding to moderate wetting. During ion-beam cleaning, the most dramatic decrease occurs in the first 15 s (to 24.05°), with the minimum value reached at 60 s (11.91°). Further treatment leads to a slight increase in the angle, associated with the onset of surface etching.

Treatment in atmospheric pressure plasma demonstrates more effective reduction of the contact angle: already at 15 s the value drops to 9.16°, and at 120 s reaches 4.48°, indicating almost complete wetting and, consequently, high adhesive ability of the surface. It is important to note that plasma treatment does not cause etching of the glazed layer, confirmed by the preservation of morphology.

Formation and Study of Nickel Thin Films. Deposition of nickel films was carried out on substrates that underwent optimal pretreatment.

Figure 3 shows the reflection spectra of nickel films formed on substrates with different pretreatment (ion source cleaning for 60 s and atmospheric plasma cleaning for 120 s).

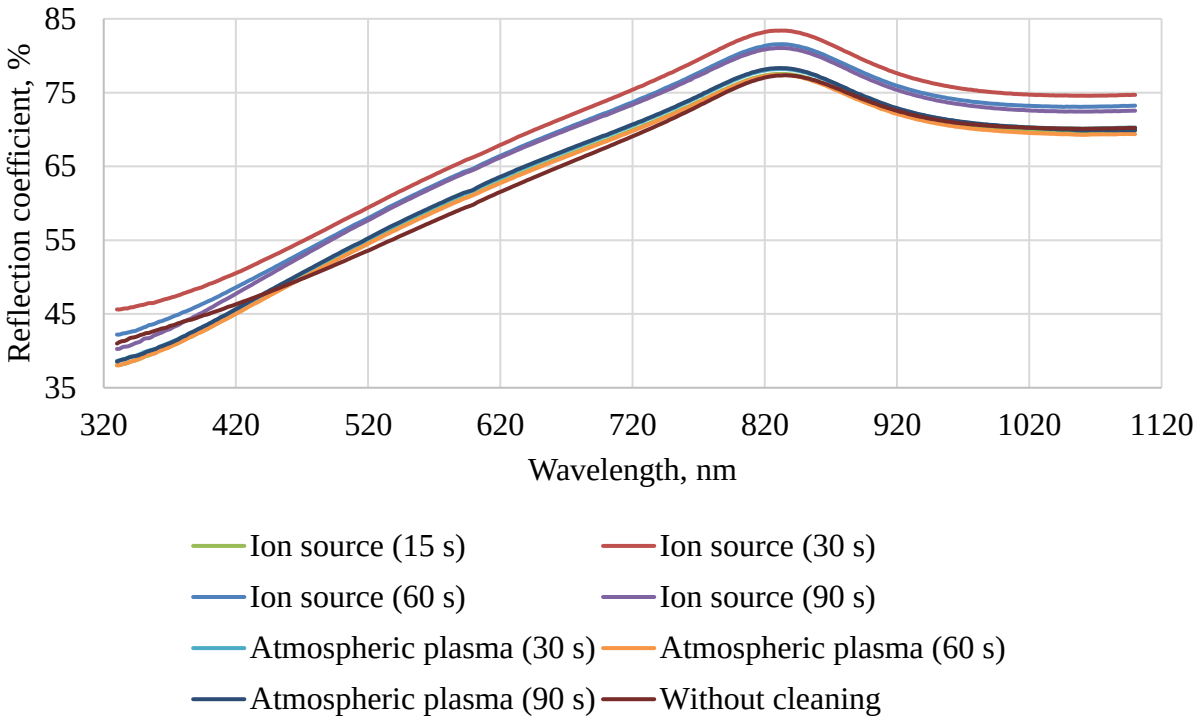


Figure 3 – Dependence of the reflection coefficient of nickel films on wavelength for different substrate cleaning methods

It can be seen that pretreatment in atmospheric pressure plasma provides a higher reflection coefficient of the formed films compared to ion cleaning, which correlates with the wettability data and indicates better adhesion and a more perfect film structure.

Surface morphology study using an atomic force microscope (Figure 4) showed that the nickel film has a uniform granular structure with individual grain sizes up to 450×800 nm. The surface is homogeneous, without visible defects.

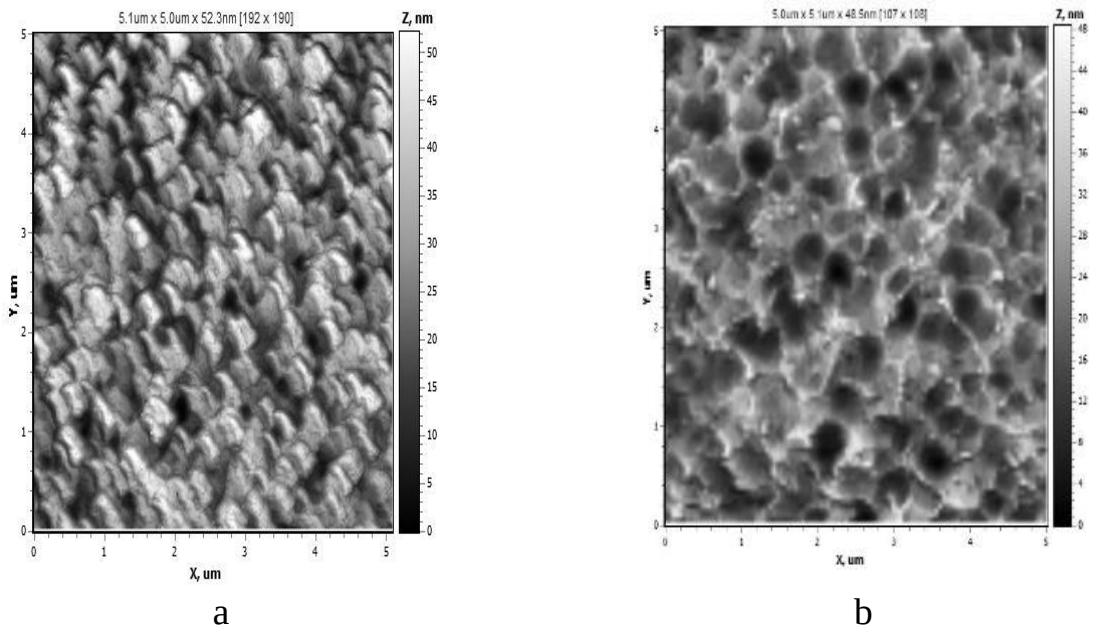


Figure 4 – AFM images of the surface: a) initial sitall; b) nickel film

Optimal Regimes. Based on the conducted research, the following optimal regimes were established:

1 Pretreatment: treatment in atmospheric pressure plasma (dielectric barrier discharge) for 120 s at an argon flow rate of 142 l/h, distance to substrate 10 mm. This regime provides a contact angle of 4.48° and does not cause surface etching.

2 Deposition of nickel films: ion-beam sputtering at a pressure of $2 \cdot 10^{-2}$ Pa, voltage 3240 V, current 42–52 mA, distance to target 200 mm for 60 min, which allows obtaining films of 100 nm thickness with uniform structure and high optical characteristics.

Conclusion. A comparative study of two methods for pretreatment of sitall substrates before the formation of thin-film nickel electrodes was carried out. It was established that treatment in dielectric barrier discharge plasma at atmospheric pressure provides better adhesive properties (contact angle 4.48°) compared to ion-beam cleaning in vacuum, while not causing etching of the glazed substrate layer. Nickel films of 100 nm thickness were obtained by ion-beam sputtering, and their optical properties and morphology were studied. The developed regimes can be used for the formation of electrodes for capacitive sensors for heavy metal content in water, confirming the relevance and practical significance of the work.

References

1. *Carter, G. Ion beam cleaning of surfaces / G. Carter // J. Phys. D: Applied Phys. – 2001. – Vol. 34. – P. R1.*

2. *Cherepnin, N.V. Vacuum properties of materials for electronic devices : monograph / N.V. Cherepnin. – M. : Sovetskoe Radio, 1966. – 349 p.*

3. *Livshits, B.G. Physical properties of metals and alloys / B.G. Livshits, V.S. Kraposhin, Ya.L. Lipetsky. – M. : Metallurgiya, 1980. – 320 p.*

UDC 537.525 : 579.24

THE EFFECT OF COLD PLASMA ON THE INHIBITION OF THE GENUS STAPHYLOCOCCUS BACTERIA

Provlockaya D.V., Panfilenko E.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Klokova A. G. – Cand. Of Sci., Associate Professor, Head of the Department of Foreign Languages

Kotov D.A. – Cand. Of Sci. (Tech.)., Associate Professor, Department of Micro– and Nanoelectronics

Annotation. Experimentally investigated the effect of cold plasma of dielectric barrier discharge on inhibition of bacteria of the staphylococcus family. It has been determined that when cleaning the coaxial discharge system in a fazzle with a gas flow rate of 180 l/h, a capacity of 40 W and a distance of 15 mm, full inactivation of the staphylococcus was reached within 10 minutes. For surface discharge, a similar effect was observed at 50 W, 10 mm distance and 15 minutes processing time.

Keywords: atmospheric plasma, coaxial discharge system, surface discharge, staphylococcus, inhibition

Introduction. Given the high pathogenicity and potential danger of staphylococci (Staphylococcus aureus, Staphylococcus saprophyticus) that can cause a wide range of infectious diseases, there is an urgent need to develop and implement new effective methods of disinfection, providing reliable inactivation of micro-organism data on different types of surfaces and objects in the external environment.

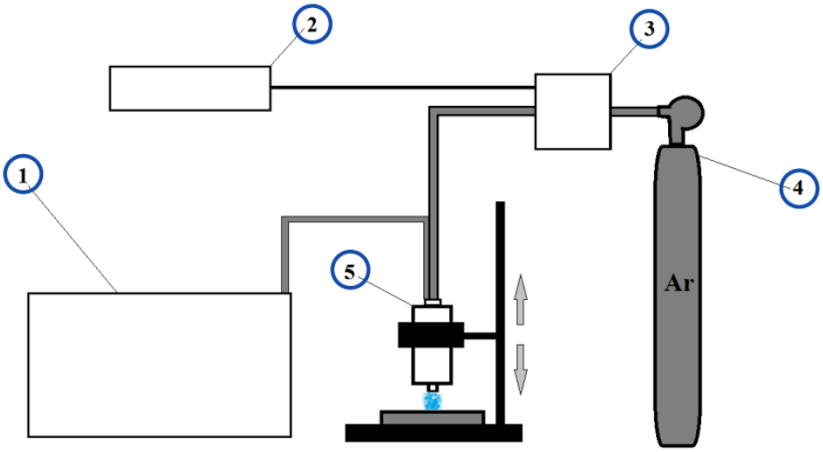
Bacteria of the genus Staphylococcus, including Staphylococcus aureus and coagulation-negative species (Staphylococcus saprophyticus), are among the most common human pathogens. They cause a wide range of diseases, from superficial pyroderma to severe invasive infections (pneumonia, endocarditis, osteomyelitis), as well as toxicosis. The threat is the spread of methicillin-resistant Staphylococcus aureus (MRSA) strains that are resistant to most β-lactam antibiotics [1]. The ability of staphylococci to form biofilms on the surface of medical implants and catheters further complicates therapy and requires new, nonscientific approaches to antimicrobial treatment.

Cold plasma is a partially ionized gas containing an unbalanced mixture of electrons, ions, neutral atoms, excited molecules and photons with temperatures close to the room. Plasma-generated active forms of oxygen and nitrogen, UV radiation and charged particles have a powerful bactericide effect, damaging the walls, membranes, proteins and DNA of microorganisms [2,3]. At the same time, the low plasma temperature allows biological tissues to be treated without risk of thermal damage.

It has been generally established that cold plasma can be an effective way to affect biological tissues in order to achieve various effects: antibacterial effect and inactivation of viruses, biocatalyst (aid in the decomposition of substances alien to the body – xenobiotics), for the treatment of diseases, associated with chronic inflammation and dangerous changes in the structure of proteins, which cause them to lose their function. Separately and actively discussed is the role of other plasma products – ozone and peroxynitrite – in bactericidal activity, that is, in direct destruction of microbes, which makes it a promising antiseptic. Thus, the interest in cold plasma applications in medicine and the need to develop effective and safe clinical protocols require deciphering key mechanisms of plasma influence on cells and tissue.

In this article, the author shows that a key role in the mechanism of inactivation is played by active forms of oxygen and nitrogen (in particular, atomic oxygen), generated by plasma and causing irreversible damage to cellular structures. The results confirm the prospects of using developed plasma sources to create effective and safe disinfection systems.

Basic Concepts. A system of atmospheric discharge plasma generation was used to clean the surface of the substrates. An schematic of the atmospheric plasma generation system is shown in Figure 1.



1 – power supply; 2 – control and power unit WP-12; 3 – gas flow regulator; 4 – gas cylinder (Ar); 5 – discharge system

Figure 1 – Diagram of an experimental coaxial type discharge system with dielectric barrier spread

Basic characteristics of the plasma generation system:
– type of discharge – dielectric barrier;
– discharge power >40 W
– working gas flow rate 70-350 l/min
– gas type – Ar

Among the many ways of creating a diffused dielectric barrier discharge, the simplest technical implementation is the coaxial configuration of the discharge system. When the gas passes through a tube in the area between the electrodes, atmospheric discharge is formed.

Two types of discharge systems were used to generate dielectric barrier plasma (DRB) at atmospheric pressure:
– coaxial discharge system;
– a planar discharge system.

The coaxial discharge system is a dielectric tube with metal electrodes inside and outside it (Figure 2). The quartz tube has an external diameter of 8 mm. The internal electrode is a hollow metal rod with a diameter of 1 mm. The outer electrode consists of a copper foil closely attached to a quartz tube, 10 mm wide.

The gas is continuously pumped through the discharge system, thereby removing heat from the discharge zone, excited particles and products of various plasma chemical reactions that typically impair the stability and performance of the discharge.

This discharge system provides a temperature in the processing area below 40 °C, as well as high stability by inhibiting streamer through a dielectric barrier between electrodes.

The planar discharge system is designed for handling large areas and consists of two flat electrodes, one of which is covered by a dielectric barrier.

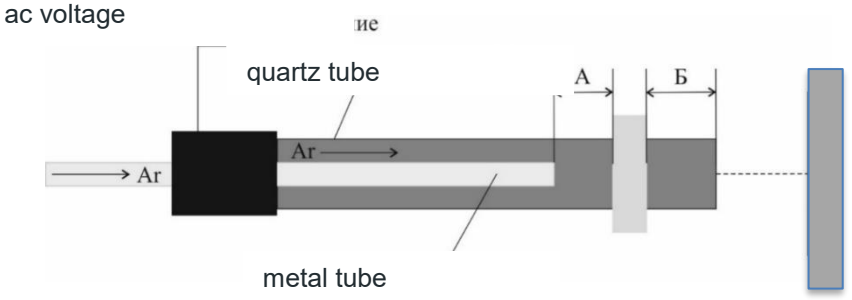


Figure 2 – Diagram of an experimental coaxial type discharge system with dielectric barrier spread

Growth of culture. Two species of bacteria of the genus Staphylococcus have been used as test cultures:

1 Staphylococcus aureus is a gram-positive cockle with a wide range of pathogenicity and clinical significance.

2 Staphylococcus saprophyticus – a causative agent of extracorporeal infections, also used as a model object.

Cultures are provided by the microbiology laboratory of the biological faculty of BSU.

The planting of microorganisms was carried out in a continuous layer on the surface of the dense nutrient medium in petri dishes using a bacteriological loop in the area of the burner flame. The flame heats the surrounding air, causing a local upward flow of air from the working surface, which reduces the likelihood of aerosols, dust and unwanted microorganisms that do not participate in the experiment. Continuous planting is a method of cultivating microorganisms in a solid nutrient medium, where the surface of the agar-agar is evenly covered by a microbial suspension to produce uniform monotone growth throughout the entire area of the petri dish.

The cultivation of staphylococcus requires a specially prepared nutritional environment, which is associated with control of growth conditions, reproducibility of results, safety and diagnostic informational. For the preparation of a nutritious medium, chicken fillet and agar-agar are needed as a source of proteins and amino acids, while agar-agar serves as a solid gel-forming component. The chicken fillet needs to be cooked, and the resulting broth needs to be filtered. In the hot solution, the agar-agar is dissolved so that when cooled it will freeze and form a floorboard surface suitable for growing colonies. The mixture is sterilized in alcohol flames to exclude foreign microorganisms, then the solution is distributed over sterile petri dishes where it is fixed and ready for stapling of the staph. Cultivated Staphylococcus aureus and Staphylococcus saprophyticus are shown in figures 3 and 4.

Petri cups with a seeded surface were treated with a plasma torch at a distance of 10–15 mm from the slit of the discharge system nozzle to the surface of the medium. The processing time (from 1 to 15 minutes) and discharge power (40 and 60 W) varied. The plasma gas flow rate (argon) was 130–180 L/h.

After processing, petri dishes were placed in a thermostat for incubation at the optimal temperature. The effectiveness of disinfection was assessed by a visual method that took into account the number of colonizing units grown on the surface of the nutrient medium. The degree of inhibition was defined as the percentage ratio of the number of colonies that grew in treated and control (untreated) cups.

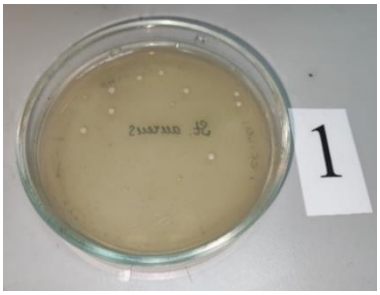


Figure 3 – Cultivated Staphylococcus aureus

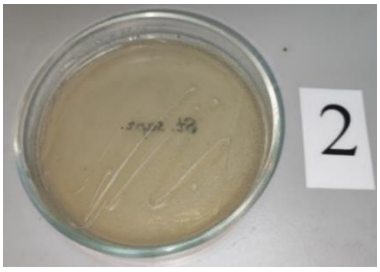


Figure 4 – Cultivated Staphylococcus saprophyticus

Results. Experiments on the disinfection of a staphylococcus-populated surface of a nutrient medium have demonstrated the high efficiency of the plasma sources developed. The static analysis did not reveal significant differences in plasma sensitivity between gold and saprophyte staphylococcus, allowing the data for both species to be considered together.

Figure 5 shows the dependency of the bacterial inhibition percentage on the processing time for coaxial system. It can be seen that the process of inactivation has a pronounced time dependency. At 40 W and 15 mm, full inhibition (100% bacterial death) was achieved after 10 minutes of processing. The increase of capacity to 60 W allowed a reduction in the time for full disinfection to 10 minutes, with inhibition of more than 90% of colonies observed after 5 minutes of treatment.

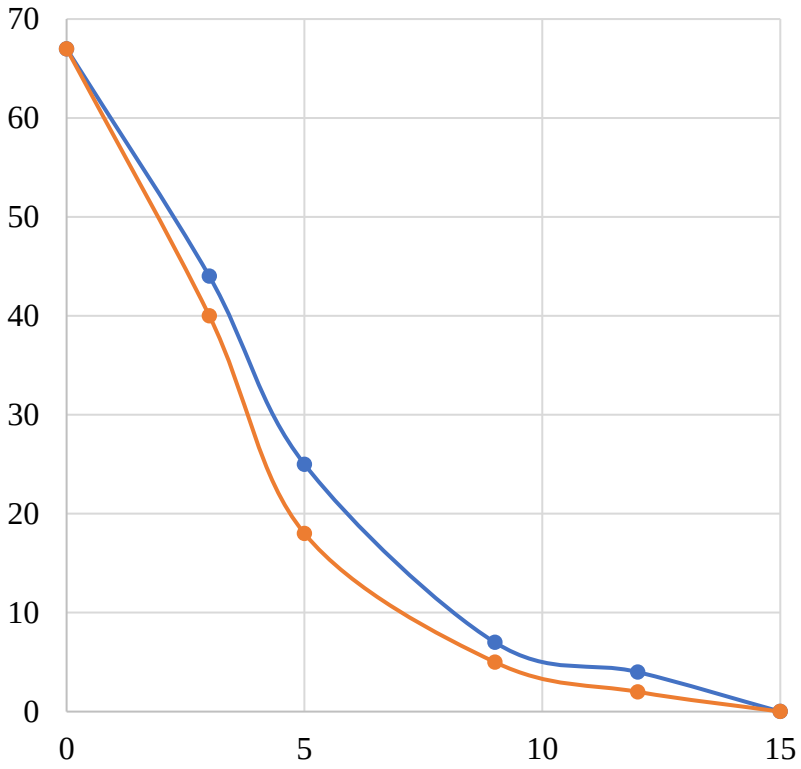


Figure 5 – Percentage of inhibition per surface treatment time

Conclusion. During the work, it was determined that for a coaxial discharge system with a gas flow rate of 180 l/h, a capacity of 40 W and a distance of 15 mm, full inactivation of the staphylococcus could be achieved in 10 minutes. For the surface discharge, a similar effect was observed at 50 W, 10 mm distance and 15 minutes processing time.

Thus, the numerical results confirm the energy efficiency and high antimicrobial activity of the dielectric discharge barrier plasma: optimal modes allow to form a stable flame up to 24 mm long, reduce energy consumption by 50%, and ensure complete disinfection of bacterial cultures in 10–15 minutes.

References

1. *Fridman, G. Applied Plasma Medicine / G. Fridman [et al.] // Plasma Processes and Polymers/ – 2008. – Vol. 5, № 6.*
2. *Laroussi, M. Low Temperature Plasma in Medicine / M. Laroussi. – Cambridge : Cambridge University Press, 2018. – 300 p.*
3. *Lukes P., Dolezalova E., Sisrova I., Clupek M. Aqueous-phase chemistry and bactericidal effects from an air discharge plasma in contact with water: evidence for the formation of peroxynitrite through a pseudo-second-order post-discharge reaction of H2O2and HNO2 // Plasma Sources Science and Technology. – 2014. – Vol. 23, № 1. – P. 015019. – https://doi.org/10.1088/0963-0252/23/1/015019.*

СЕКЦИЯ
«ПЕРВЫЙ ШАГ В НАУКУ»

УДК 004.62

МЕТОДИКА ТЕСТИРОВАНИЯ НА ПРОНИКНОВЕНИЕ ДЛЯ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ

Михайловский С.Г.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Белоусова Е.С. – к. т. н, доцент, доцент кафедры ЗИ

Аннотация. В статье рассматривается роль методики тестирования на проникновение в деятельности подразделений кибербезопасности. Раскрываются ключевые этапы разработанной методики: разведка, сканирование, анализ уязвимостей, эксплуатация, закрепление в системе и нагрузочное тестирование. Особое внимание уделяется современным инструментальным средствам, включая AI-first сканеры, технологии эксплуатации уязвимостей и автоматизации обработки данных. Подход ориентирован на практическое использование атакующими и защищающими командами для объективной оценки защищенности корпоративных информационных систем.

Ключевые слова: тестирование на проникновение, пентест, методика, эксплуатация уязвимостей, импланты, C2-каналы, автоматизация, AI-безопасность, команда кибербезопасности, Red Team, Blue Team.

Введение. Современные корпоративные информационные системы представляют собой сложные распределенные комплексы с облачными платформами, виртуализацией, микросервисами и множеством внешних интеграций. В условиях роста кибератак обеспечение информационной безопасности требует регулярной оценки эффективности средств защиты, ключевым инструментом которой выступает тестирование на проникновение. В крупных организациях функции могут быть разделены между «красными» (Red Team) и «синими» (Blue Team) командами, а эффективное взаимодействие между ними невозможно без формализованной методики. Настоящая статья посвящена разработке комплексной методики тестирования на проникновение, включающей этапы проведения, инструментальное обеспечение на базе AI-first сканеров и автоматизацию. Предлагаемый подход ориентирован на практическое применение подразделениями кибербезопасности для объективной оценки защищенности корпоративных информационных систем [1].

Основная часть. Разработанная методика базируется на модели Cyber Kill Chain и включает шесть последовательных этапов, обеспечивающих полноту охвата всех стадий атаки: от сбора информации до закрепления в системе.

Этап планирования и подготовки, формализует цели, объем и правила взаимодействия. Определяются объекты оценки: внешний периметр (веб-приложения, шлюзы), внутренняя инфраструктура (серверы приложений, БД, СХД), сетевая архитектура (VLAN, межсетевые экраны, микросегментация), человеческий фактор. На данном этапе формируется команда, распределяются роли, разрабатывается план взаимодействия с заказчиком, включая информирование о критических находках и механизмы экстренного прекращения тестирования.

Этап разведки делится на пассивные и активные методы, при этом пассивная разведка включает анализ IP-адресов, DNS-имен, соцсетей, архивов сайтов с использованием theHarvester (сбор email и поддоменов), Maltego (визуальный анализ связей), Shodan (поиск устройств в глобальной сети). Активная разведка, это этап сканирование портов, определение версий сервисов, определение топологии сети. Автоматизация обеспечивается скриптами, которые выполняют последовательный запуск OSINT-инструментов, парсинг данных, формирование списков активных хостов и подготовку отчетов для импорта в другие системы [2].

Этап сканирования и анализа уязвимостей, обеспечивается применением Masscan, который позволяет осуществлять высокоскоростное обнаружение активных узлов и портов

(до миллионов пакетов в секунду). Nmap выполняет детальный анализ версий сервисов, ОС и специализированные скрипты безопасности. Nmap с набором скриптов vulners автоматически сопоставляет версии ПО с CVE и оценивает критичность по CVSS. AI-first сканер MEDUSA (открытая платформа, 76+ анализаторов, 7300+ правил) выявляет классические уязвимости (SQL-инъекции, XSS) и риски AI-компонентов, LLM-интеграций. Преимущества сканера AI-first в снижении ложных срабатываний до 74 %, контекстная приоритизация рисков, поддержка более 42 языков (Python, JavaScript, Docker, конфигурации AI-агентов) [3].

Этап эксплуатации уязвимостей и закрепления в системе позволяет моделировать действия злоумышленника. Как правило, эксплуатация выполняется с использованием публичных эксплойтов Metasploit для получения начального shell-доступа. Ключевое отличие методики в обязательном закрепление в системе для оценки способности средств защиты обнаруживать активность после получения доступа. Для этого используется платформа Sliver, позволяющая генерировать импланты на сервере C2 с обфускацией, что делает каждый экземпляр уникальным, усложняя сигнатурный анализ. Архитектура импланта включает ядро агента на Go, поддерживает протоколы C2 (HTTPS, DNS, mTLS, WireGuard), модульная структура снижает вероятность обнаружения. После установления C2 выполняются сбор информации, повышение привилегий и горизонтальное перемещение для оценки сетевой сегментации и принципа минимальных привилегий.

Этап тестирования устойчивости и доступности, проводится на трех уровнях модели OSI: сетевом (hping3 для реализации SYN-flood, UDP-flood или проверки межсетевых экранов, IPS, SYN Cookies), транспортном (thc-ssl-dos для проверки устойчивости TLS/SSL к атакам, связанным с повторным согласованием соединения, выявление некорректных конфигураций веб-серверов), прикладном (siege для нагрузочного тестирования веб-сервисов, оценки кэширования, балансировщиков, отказоустойчивости). Автоматизация достигается скриптами, стандартизирующими параметры тестирования [3].

Этап анализа результатов и формирования рекомендаций, базируется на документировании уязвимостей с указанием методов эксплуатации, использованных инструментов и доказательной базы (логи C2, скриншоты). Формируется матрица рисков по CVSS с учетом бизнес-контекста. Предлагаются меры по совершенствованию СЗИ (формируется дорожная карта повышения защищенности).

Реализация представленной методики требует применения систематизированного набора инструментов, охватывающих все этапы тестирования. В таблице 1 представлены основные категории инструментов и их роль в методике.

Таблица 1 – Инструменты обеспечение методики тестирования на проникновение

Категория	Инструменты	Назначение
Базовая платформа	Kali Linux	Унифицированная операционная среда с предустановленным набором инструментов безопасности
Разведка и OSINT	theHarvester, Maltego, Shodan	Сбор информации из открытых источников, визуальный анализ связей, поиск устройств и сервисов
Сканирование портов	Masscan, Nmap	Высокоскоростное обнаружение активных узлов, детальное определение версий и операционных систем
Анализ уязвимостей	Nmap (скрипт vulners), MEDUSA	Поиск известных уязвимостей (CVE), AI-first статический анализ кода и конфигураций
Эксплуатация уязвимостей	Metasploit Framework	Выполнение эксплойтов, автоматизация атак
Закрепление и C2	Sliver	Генерация имплантов, управление каналами C2, пост-эксплуатация
Нагрузочное тестирование	hping3, thc-ssl-dos, siege	SYN-флуд, SSL renegotiation, нагрузочное тестирование веб-приложений
Социальная инженерия	GoPhish	Моделирование фишинговых кампаний, оценка человеческого фактора
Автоматизация процессов	Скрипты Python/Bash	Автоматизация сбора данных, обработки результатов, формирования отчетов

В ходе разведки скрипты последовательно собирают данные через OSINT-инструменты, фильтруют результаты, формируют списки активных хостов, поддоменов и email-адресов, подготавливают структурированные отчеты (JSON, XML) для импорта в системы анализа. Обеспечивается воспроизводимость и сравнительный анализ изменений атакуемой поверхности.

Скрипты выполняют двухэтапное сканирование: высокоскоростное обнаружение активных узлов Masscan, затем детальный анализ Nmap с определением версий и поиском уязвимостей. Результаты агрегируются в единый отчет. Дополнительно инициируется сканирование AI-first сканером MEDUSA, который выявляет уязвимости в коде и конфигурациях, снижая ложные срабатывания до 74 % [2].

Нагрузочное тестирование реализуется скриптами, последовательно запускающими различные типы атак (SYN-флуд, атаки на TLS/SSL, нагрузочное тестирование веб-сервисов), собирающими метрики производительности и формирующими сводные отчеты. Стандартизация параметров обеспечивает воспроизводимость результатов и сравнение показателей до и после изменений [3].

Скрипты агрегируют результаты всех этапов, формируют матрицу рисков с оценкой критичности уязвимостей и подготавливают итоговый отчет для передачи заказчику и интеграции с системами управления уязвимостями. Это сокращает время подготовки документов и обеспечивает единообразие результатов при повторных тестированиях.

Разработанная методика тестирования на проникновение повышает эффективность Red Team и Blue Team.

Для Red Team она обеспечивает системность, воспроизводимость и накопление знаний. Автоматизация высвобождает ресурсы для нестандартных задач, требующих глубокого понимания архитектуры.

Для Blue Team результаты тестирования позволяют приоритизировать устранение уязвимостей и настраивать системы обнаружения инцидентов. Автоматизированная отчетность ускоряет идентификацию критических рисков.

Взаимодействие команд строится на совместном планировании. Информированное тестирование оценивает не только возможность эксплуатации уязвимостей, но и способность службы ИБ их своевременно обнаружить. Совместный анализ предоставляет детальную информацию о методах, инструментах и тактиках для настройки систем обнаружения.

Особую ценность имеет этап закрепления в системе с использованием платформы Sliver. Развертывание обфусцированного импланта и установление скрытого канала C2 подтверждает неспособность средств защиты блокировать полиморфные нагрузки, доказывая необходимость поведенческого анализа и XDR. DNS-туннелирование для управления и эксфильтрации данных выявляет недостаточную глубину анализа служебных протоколов сетевой защитой [2].

Заключение. Разработанная методика представляет собой систематизированный подход к оценке защищенности корпоративных информационных систем, интегрирующий ключевые этапы тестирования на проникновение, современные инструментальные средства и автоматизацию процессов. Ее реализация обеспечивает системность и воспроизводимость оценки, объективную оценку эффективности средств защиты, выявление не только наличия уязвимостей, но и реальной возможности их эксплуатации, формирование обоснованных рекомендаций.

Для команд Red Team и Blue Team методика создает основу системной работы и накопления знаний, а автоматизация позволяет сосредоточиться на сложных задачах. Для подразделений кибербезопасности результаты становятся объективной основой приоритизации защитных мероприятий и оценки эффективности внедренных средств.

Список литературы

1. Бегаев А.Н., Бегаев С.Н.,Федотов В.А. Тестирование на проникновение. – СПб: Университет ИТМО, 2018. – 45 с.

2. Парасрам Ш. Kali Linux. Тестирование на проникновение и безопасность/Шива Парасрам. – Москва: ДМК Пресс, 2021. – 432 с.

3. Efe A. A risk assessment on usage of Kali tools to hack and manipulate web-based MIS and ERP applications // Yönetim Bilişim Sistemleri Dergisi. – 2025. – Vol. 11, № 1. – P. 62–80.

UDC 004.62

PENETRATION TESTING METHODOLOGY FOR CYBERSECURITY DEPARTMENTS

Mikhailovsky S.G.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Belousova E.S – Cand. of Sci., associate professor

Annotation. This article examines the role of penetration testing methodology in cybersecurity activities. It describes the key stages of the developed methodology: reconnaissance, scanning, vulnerability analysis, exploitation, persistence in the system, and load testing. Particular attention is paid to modern tools, including AI-first scanners, vulnerability exploitation technologies, and automated data processing. The approach is designed for practical use by attack and defense teams for objectively assessing the security of corporate information systems.

Keywords: penetration testing, pentest, methodology, vulnerability exploitation, implants, C2 channels, automation, AI security, cybersecurity team, Red Team, Blue Team.

УДК 62-95

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ПРОТИВОДЫМНОЙ ЗАЩИТЫ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ

Прусенкова А.О.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Галузо В. Е. – к. т. н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. В многоэтажных зданиях для обеспечения незадымляемости путей эвакуации при пожаре, согласно нормативным документам, должна быть система противодымной защиты. В состав этой системы входит система компенсирующей подачи воздуха. Для обеспечения эффективности системы противодымной защиты предлагается использовать не вертикальные вентиляционные шахты компенсирующей подачи, а горизонтальные.

Ключевые слова: Противодымная защита (ПДЗ), многоэтажные здания, незадымляемость путей эвакуации, компенсирующая подача воздуха, дымоудаление, горизонтальные воздуховоды, вертикальные вентиляционные шахты, перепад давления, естественная вентиляция, эвакуация при пожаре.

Введение. Согласно [1,2] во всех многоэтажных зданиях любого функционального назначения должна быть вентиляционная система противодымной защиты (ПДЗ). Система ПДЗ должна обеспечить нераспространение дыма и незадымляемость путей эвакуации при пожаре, что в свою очередь должно способствовать беспрепятственной эвакуации из зданий в кратчайшие сроки. Основной составляющей системы ПДЗ согласно [1,2] является система дымоудаления из коридора этажа пожара. Однако, как было отмечено в [3], при запуске системы ПДЗ дымоудаления из коридора не происходит до тех пор, пока не будут открыты двери из коридора на лестничную клетку. Открыть двери на лестничную клетку могут люди, эвакуирующиеся с этажа пожара, а это значит, что выходить из помещений, они будут в задымленный коридор, в котором согласно [1,2] температура дыма 300 ^{0}C. При этом не понятно, как свои функции оповещения о пожаре и управления эвакуацией будут исполнять технические средства, размещенные в коридоре, максимальная температура эксплуатации которых не превышает 55 ^{0}C [4].

Кроме того, если рассчитать параметры вентиляционной системы дымоудаления из коридора в соответствии с примерами, приведенными в [1,2], то перепады давления на закрытых путях эвакуации, нормируемые [5], будут очень большими, что будет препятствовать эвакуации.

Поэтому в [3] впервые была предложена, а затем в [1,2] прописана необходимость использования компенсирующей подачи воздуха в коридор при пожаре. В [3] была предложена идея подачи воздуха на этаж пожара при включенном вентиляторе и открытом клапане дымоудаления по горизонтальным воздуховодам без использования приточного вентилятора.

Основная часть. В соответствии с [1,2] способы подачи воздуха могут быть различными, но в основном подразделяются на использование принудительной и естественной вентиляции. При этом анализ проектных решений показывает, что на практике оба варианта используются одинаково часто. Компенсирующая подача воздуха осуществляется по вертикальным вентиляционным шахтам с использованием вентилятора или без него.

Однако, в ходе аэродинамических испытаний вентиляционных систем ПДЗ обнаруживается, что естественная компенсирующая вентиляция не выполняет свои функции. В частности, в зимний отапливаемый период года в шахтах естественной компенсирующей подачи воздуха имеет место сильная прямая тяга из-за чего на первых этажах зданий имеет место большой перепад давления на закрытых дверях путей эвакуации. Эта тяга в 25-ти

этажных зданиях высотой 75 м при температуре воздуха в коридоре здания 20 ^{0}С (удельном весе 12 н/м^3) и наружного воздуха – 20 ^{0}С (удельном весе 10 н/м^3) составляет около 150 Па. А это означает, что для того чтобы воздух пошел снаружи в коридор надо опрокинуть тягу создав в коридоре разряжение равное 150 Па. А это значение разряжения воздуха в коридоре является критическим так как перепад давления на закрытых дверях путей эвакуации не должно быть более 150 Па. То есть эта компенсация не эффективна и более того усугубляет ситуацию.

Кроме того, следует добавить и то обстоятельство, что согласно [1,2] в коридоре, как отмечалось выше, при пожаре температура 300 ^{0}С (удельный вес 6 н/м^3), а это означает что разряжение в коридоре за счет естественной компенсации в этом случае будет еще больше и составит около 450 Па.

Заключение. Рекомендуется не использовать при проектировании вентиляционных систем ПДЗ естественной компенсирующей подачи воздуха по вертикальным шахтам. Проектировать естественную компенсацию только по горизонтальным воздуховодам, в которых отсутствует прямая тяга, как это было рекомендовано в [3] и уже реализовано в проектных решениях. Горизонтальные воздуховоды размещать непосредственно над дверями эвакуационных выходов на лестничные клетки. Тем самым обеспечивается пониженная температура воздуха над дверями, равная наружной температуре воздуха. А это значит, что температура воздуха над дверью, где размещаются световые указатели, не превышает их максимальную температуру эксплуатации.

Список литературы

1. СН 2.02.07-2020 Противодымная защита зданий и сооружений при пожаре. Системы вентиляции.

2. ТКП 45-4.0 -27 -2012 Противодымная защита зданий и сооружений при пожаре. Системы вентиляции.

3. Галузо В.Е., Литвинова О.Е. Дымоудаление: задачи и их решение. Производственно-практический журнал «Служба спасения 01-2011», №9, 2011, с.42-43.

4. Оповещатели пожарные серии «АСТО». Руководство по эксплуатации ООО «Авангардспецмонтажплюс».

5. НПБ 23-2010. Противодымная защита зданий и сооружений. Методы приемо-сдаточных и периодических испытаний.

UDC 62-95

IMPROVING THE EFFICIENCY OF SMOKE PROTECTION SYSTEMS FOR MULTI-STOREY BUILDINGS

Prusenkova A.O.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Galuzo V.E. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. In multi-storey buildings, to ensure smoke-free escape routes in case of fire, a smoke protection system must be provided in accordance with regulatory documents. This system includes a make-up air supply system. To ensure the efficiency of the smoke protection system, it is proposed to use horizontal ventilation shafts for make-up air supply instead of vertical ones.

Keywords: Smoke protection system, multi-storey buildings, smoke-free escape routes, make-up air supply, smoke exhaust, horizontal air ducts, vertical ventilation shafts, pressure differential, natural ventilation, fire evacuation.

УДК 004.72

АРХИТЕКТУРА ПОСТРОЕНИЯ СЕТИ ИНТЕРНЕТ В КОНТЕКСТЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Вашкевич В.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Нагулевич Р.С. – магистр экономических наук , ст. преподаватель кафедры ЭИ

Аннотация. В работе рассматривается базовая архитектура сети Интернет как фундаментальной основы современных информационных систем. Раскрываются ключевые принципы построения глобальных сетей: стек протоколов TCP/IP, маршрутизация пакетов и иерархическая структура связей. Проанализированы уровни сетевого взаимодействия, подходы к адресации (IPv4, IPv6) и принципы отказоустойчивости. Данный анализ обеспечивает понимание механизмов надежной и масштабируемой передачи данных, необходимых для проектирования распределенных программных комплексов.

Ключевые слова: Архитектура Интернета, стек протоколов TCP/IP, маршрутизация, коммутация пакетов, IP-адресация, IPv4, IPv6, децентрализация, отказоустойчивость, иерархия провайдеров (Tier-1, Tier-2, Tier-3), протоколы прикладного уровня (HTTP, FTP, DNS), транспортный уровень (TCP, UDP), сетевой уровень, Интернет вещей (IoT), цифровая экономика.

Введение. В современном мире Интернет стал неотъемлемой средой для функционирования любых бизнес-процессов и информационных систем. Локальные вычислительные сети способны решать узкие задачи предприятий, однако глобальная интеграция и облачные вычисления требуют принципиально иного масштаба.

Ключевая задача архитектуры Интернета – обеспечение надежной, высокоскоростной и безопасной передачи данных между миллионами разнородных узлов. Простое физическое соединение компьютеров не позволяет масштабировать сеть. Решение этой проблемы обеспечивают унифицированные технологии сетевой архитектуры и стандартизированные протоколы обмена данными. Концепция децентрализованной маршрутизации является связующим звеном в ИТ-экосистеме: она объединяет конечные устройства, дата-центры и магистральные каналы связи в единое логическое пространство.

Цель современной сетевой архитектуры – предоставить пользователям и приложениям возможность за миллисекунды устанавливать соединения и обмениваться данными вне зависимости от их географического положения и аппаратного обеспечения.

Основная часть. Основополагающие принципы построения сети Интернет включают:

– коммутацию пакетов (разделение потока данных на независимые блоки для эффективной загрузки каналов);

– децентрализацию и отказоустойчивость (отсутствие единой точки отказа, возможность динамического изменения маршрутов);

– независимость от среды передачи данных (пакеты могут передаваться по оптоволокну, радиоканалам или медным кабелям).

Физическая архитектура Интернета строится по строгому иерархическому принципу клиент-провайдер. Основой служат высокоскоростные магистральные сети уровня Tier-1 (глобальные операторы связи), которые не платят друг другу за трафик. К ним подключаются национальные и региональные провайдеры (Tier-2), которые, в свою очередь, раздают транзит локальным провайдерам (Tier-3), обеспечивающим доступ «последней мили» конечным потребителям и предприятиям.

Центральное понятие логической архитектуры Интернета – стек протоколов TCP/IP, ставший промышленным стандартом. Он регламентирует правила взаимодействия устройств и включает четыре базовых уровня:

– прикладной уровень (HTTP, FTP, DNS) – протоколы, обеспечивающие взаимодействие сетевых приложений и сервисов с пользователем;

– транспортный уровень (TCP, UDP) – отвечает за надежную доставку сообщений от процесса к процессу, контроль целостности и управление потоком (в случае TCP);

– сетевой уровень (IP, ICMP) – базовая логическая адресация узлов и выбор оптимального пути следования пакета (маршрутизация);

– канальный и физический уровни – преобразование логических битов в физические сигналы (Ethernet, Wi-Fi) и их передача по аппаратному каналу.

Жизненно важным механизмом работы сети является система глобальной IP-адресации. В связи с исчерпанием адресного пространства классического протокола IPv4 (32-битная архитектура), в современной сетевой инженерии активно внедряется протокол IPv6 (128-битная архитектура), обеспечивающий практически безграничное количество уникальных адресов для концепции «Интернета вещей» (IoT).

Навигация в этой глобальной системе осуществляется с помощью протоколов динамической маршрутизации (таких как BGP на глобальном уровне и OSPF во внутренних сетях).

Заключение. Исходя из результатов проведенного анализа, можно сделать вывод о колоссальной практической значимости и гибкости архитектуры Интернета.

Выступая универсальным транспортным механизмом, эта архитектура обеспечивает трансформацию сложных физических связей в прозрачную среду для разработчиков и инженеров. Это позволяет специалистам проектировать масштабируемые веб-приложения, автоматизированные системы управления и распределенные базы данных.

В итоге, глубокое понимание принципов построения сети Интернет дает ИТ-специалистам возможность создавать отказоустойчивые и высокопроизводительные программные продукты, что является определяющим фактором развития цифровой экономики.

Список литературы

1. Олифер, В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – 5-е изд. – СПб. : Питер, 2016. – 992 с.

2. Таненбаум, Э. Компьютерные сети / Э. Таненбаум, Д. Уэзеролл. – 5-е изд. – СПб. : Питер, 2012. – 960 с.

3. Куроуз, Дж. Компьютерные сети. Нисходящий подход / Дж. Куроуз, К. Росс. – 6-е изд. – М. : Эксмо, 2016. – 912 с.

UDC 004.72

ARCHITECTURE OF THE INTERNET NETWORK IN THE CONTEXT OF MODERN INFORMATION SYSTEMS

Vashkevich V.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Nagulevich R.S. – Senior Lecturer, Master of Economic Sciences

Annotation. The paper examines the basic architecture of the Internet network as a fundamental foundation of modern information systems. The key principles of building global networks are revealed: the TCP/IP protocol stack, packet routing and hierarchical structure of connections. The levels of network interaction, addressing approaches (IPv4, IPv6) and principles of fault tolerance are analyzed. This analysis provides an understanding of the mechanisms of reliable and scalable data transmission necessary for the design of distributed software systems.

Keywords: Internet architecture, TCP/IP protocol stack, routing, packet switching, IP addressing, IPv4, IPv6, decentralization, fault tolerance, provider hierarchy (Tier-1, Tier-2, Tier-3), application layer protocols (HTTP, FTP, DNS), transport layer (TCP, UDP), network layer, Internet of Things (IoT), digital economy.

УДК 621.3.049.75

КОНСТРУКЦИЯ И ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Шацкий М.Г.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники[1]
г. Минск, Республика Беларусь

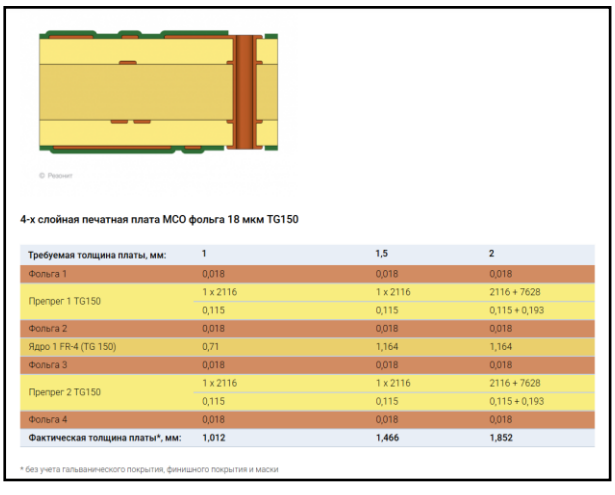
Самуйлов И.В. – ст. преподаватель кафедры ЭТТ

Аннотация. В данной работе представлены систематизированные методические рекомендации по проектированию многослойных печатных плат. Рассматривается полный цикл разработки топологии: от формирования структуры слоев и выбора конструкционных материалов до финальной трассировки критических цепей. В материале описаны принципы обеспечения целостности сигналов и электромагнитной совместимостью.

Ключевые слова: Печатная плата, стэк, трассировка, дифференциальная пара, класс точности, препрег, электромагнитная совместимость.

Введение. Проектирование печатных плат является обязательным этапом разработки электронных устройств и включает выбор структуры слоёв, определение технологических ограничений, размещение компонентов и трассировку соединений. Конструктивные параметры платы определяют электрические характеристики, устойчивость к помехам, тепловой режим и технологичность изготовления. Целью работы является систематизированное изложение базовых принципов формирования типовой структуры многослойных печатных плат и последовательности их проектирования с учётом технологических ограничений производства.

Основная часть. Начальным этапом разработки является определение числа слоёв. Последовательность проводящих и диэлектрических слоёв называется стеком платы. Типовые структуры используются для снижения стоимости производства и повышения повторяемости технологического процесса. В условиях ограниченных возможностей локального производства многослойных плат их изготовление часто осуществляется на специализированных предприятиях. На рисунке 1 представлена типовая структура четырёхслойной платы. На рисунке 2 показана структура шестислойной платы. Центральной частью конструкции является диэлектрическое ядро, выполняющее механическую и электрическую функции основания. Проводящие слои формируются из медной фольги методом травления. Между слоями располагается препрег, представляющий собой пропитанный связующим диэлектрический материал, обеспечивающий электрическую изоляцию и механическую фиксацию слоёв.

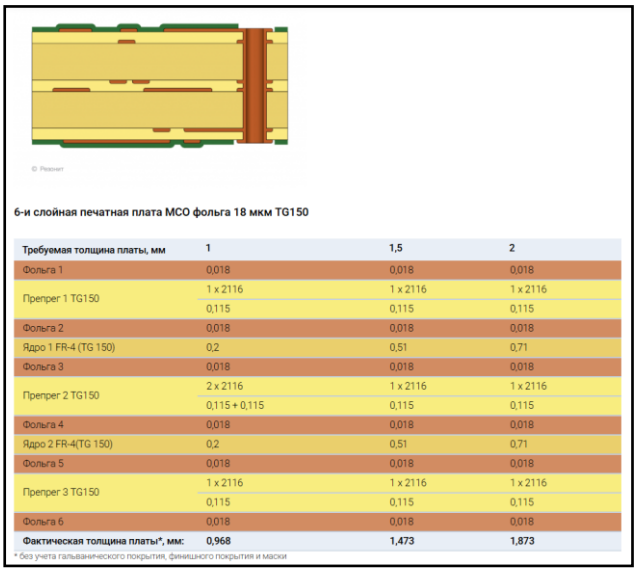


4-х слойная печатная плата МСО фольга 18 мкм TG150

Требуемая толщина платы, мм:	1	1,5	2
Фольга 1	0,018	0,018	0,018
Препрег 1 TG150	1 x 2116	1 x 2116	2116 + 7628
	0,115	0,115	0,115 + 0,193
Фольга 2	0,018	0,018	0,018
Ядро 1 FR-4 (TG 150)	0,71	1,164	1,164
Фольга 3	0,018	0,018	0,018
Препрег 2 TG150	1 x 2116	1 x 2116	2116 + 7628
	0,115	0,115	0,115 + 0,193
Фольга 4	0,018	0,018	0,018
Фактическая толщина платы*, мм:	**1,012**	**1,466**	**1,852**

* без учета гальванического покрытия, финишного покрытия и маски

Рисунок 1 – Типовая структура четырёхслойной платы



6-и слойная печатная плата МСО фольга 18 мкм TG150

Требуемая толщина платы, мм	1	1,5	2
Фольга 1	0,018	0,018	0,018
Препрег 1 TG150	1 x 2116	1 x 2116	1 x 2116
	0,115	0,115	0,115
Фольга 2	0,018	0,018	0,018
Ядро 1 FR-4 (TG 150)	0,2	0,51	0,71
Фольга 3	0,018	0,018	0,018
Препрег 2 TG150	2 x 2116	1 x 2116	1 x 2116
	0,115 + 0,115	0,115	0,115
Фольга 4	0,018	0,018	0,018
Ядро 2 FR-4(TG 150)	0,2	0,51	0,71
Фольга 5	0,018	0,018	0,018
Препрег 3 TG150	1 x 2116	1 x 2116	1 x 2116
	0,115	0,115	0,115
Фольга 6	0,018	0,018	0,018
Фактическая толщина платы*, мм:	**0,968**	**1,473**	**1,873**

* без учета гальванического покрытия, финишного покрытия и маски

Рисунок 2 – Типовая структура шестислойной платы

Типовые конструкции содержат чётное число слоёв, обычно от двух до шестнадцати. Платы с четырьмя и более проводящими слоями относятся к многослойным. По механическим характеристикам различают жёсткие, гибкие и гибко-жёсткие платы. Для большинства устройств общего назначения применяются жёсткие платы на стеклотекстолитовой основе [1].

Выбор числа слоёв определяется функциональной структурой схемы. Если схема содержит только аналоговые цепи или выполняет функции распределения питания, возможно применение двухслойной платы, где один слой используется для сигналов или питания, а второй – для земли. При наличии цифровых узлов требуется многослойная структура, позволяющая разделить аналоговые и цифровые слои и снизить уровень взаимных помех.

Опорный слой представляет собой проводящий слой, используемый в качестве потенциала отсчёта напряжения для группы цепей. Он также служит путём возврата токов и распределения паразитных токов утечки. Ток утечки – это нежелательный ток, протекающий через изоляционный материал или по поверхности платы между проводниками. Наличие выделенных опорных слоёв уменьшает влияние паразитных токов на рабочие цепи. Если один общий слой используется для всех цепей, колебания потенциала на нём могут приводить к отклонению уровней напряжения в различных узлах схемы.

Опорные слои выполняют также функцию электромагнитного экранирования. Токи, протекающие по сигнальным проводникам, индуцируют электромагнитные поля, которые могут воздействовать на соседние цепи. Расположение проводящего слоя земли рядом с сигнальным уменьшает распространение поля за пределы межслойного пространства. Аналогично, наличие опорных слоёв над и под сигнальным проводником уменьшает влияние внешних источников помех.

Проводящие слои делятся на сигнальные и силовые. Силовые используются для распределения питания между элементами. Сигнальные служат для передачи информационных сигналов. Связь между слоями осуществляется с помощью переходных отверстий – металлизированных каналов, обеспечивающих электрическое соединение проводников различных уровней структуры.

После выбора структуры выполняется определение класса точности. Он задаёт минимально допустимые размеры проводников, зазоров и отверстий. К параметрам класса точности относятся минимальная ширина дорожки, минимальное расстояние между элементами топологии, минимальный диаметр переходных отверстий и контактных площадок. Эти значения определяются требованиями используемых компонентов и возможностями производства. Минимальные расстояния между выводами компонентов задаются в их технической документации. Если в схеме присутствует компонент с малым

шагом выводов, класс точности платы определяется именно этим элементом. При этом остальные элементы топологии могут выполняться с большими допусками, что снижает стоимость изготовления.

Ширина проводников и диаметр переходных отверстий выбираются исходя из величины протекающего тока. Для расчёта используют специализированные программы, учитывающие толщину медной фольги, ширину дорожки и допустимый перегрев. На практике применяется фольга толщиной 18, 35 и 75 мкм. Для увеличения допустимого тока вместо увеличения толщины меди может применяться параллельное соединение проводников или полигонов.

Полигон представляет собой сплошную область меди, соединённую с определённым электрическим потенциалом. Он используется для уменьшения сопротивления возвратных токов, улучшения теплоотвода и снижения уровня помех.

Диаметр переходных отверстий также определяется токовой нагрузкой. Распространённый типовой размер составляет 0,3 мм диаметр сверления и 0,6 мм диаметр контактной площадки. Токовая проводимость переходного отверстия пропорциональна площади металлизации его стенок, поэтому для передачи больших токов применяют несколько отверстий, соединённых параллельно [2].

На этапе размещения компонентов сначала определяются точки входа и выхода сигналов, обычно расположенные у краёв платы. Затем анализируются цепи питания. Входящие напряжения фильтруются конденсаторами различного типа. Конденсаторы с большей ёмкостью устанавливаются ближе к входу питания платы, а конденсаторы малой ёмкости – максимально близко к выводам микросхем. Такое размещение уменьшает влияние флюктуаций токов от источника питания, а также помех, которые наводятся на проводник между источником питания и нагрузкой.

При размещении микросхем учитываются рекомендации производителя по топологии обвязки. Эти рекомендации позволяют корректно расположить элементы цепей стабилизации, фильтрации и согласования. Дополнительно анализируются интерфейсные цепи, для которых могут требоваться подтягивающие резисторы или согласующие цепи. Шумящие элементы и чувствительные узлы желательно размещать на расстоянии друг от друга для уменьшения взаимного влияния [3].

После размещения выполняется трассировка соединений. Рассмотрим последовательность действий на примере четырёхслойной платы. Верхний слой обычно используется для размещения компонентов и силовых цепей. Применение полигонов питания уменьшает сопротивление и индуктивность проводников. При подключении конденсаторов к полигонам используются термальные перемычки – узкие проводники между площадкой и полигоном. Их применение облегчает пайку и регулирует сопротивление соединения.

При трассировке проводников предпочтительно использовать повороты под углом 45 градусов. Повороты под прямым углом увеличивают неоднородность линии и могут изменять распределение поля в проводнике.

Второй слой обычно используется как сплошной полигон земли. Он выполняет функцию опорного слоя для верхнего сигнального или силового слоя. В простых устройствах этот слой может быть полностью заполнен медью. В более сложных платах он может разделяться на участки различных потенциалов.

Третий слой часто применяется как сигнальный. На нём размещаются линии передачи цифровых сигналов. Среди них выделяют три категории: линии без требований к волновому сопротивлению, линии с контролируемым сопротивлением и дифференциальные пары. Линии первой категории допускают произвольную геометрию в пределах технологических ограничений. Линии второй категории требуют постоянной ширины и расположения над сплошным опорным слоем. Дифференциальные пары должны иметь одинаковую длину проводников, постоянный зазор между ними и одинаковые условия окружения по всей длине трассы.

При трассировке сначала выполняются наиболее критические цепи. Обычно это дифференциальные линии высокоскоростных интерфейсов. Затем прокладываются

одиночные линии с контролируемым сопротивлением, после чего остальные сигнальные соединения. Расстояние между линиями выбирается исходя из требований электромагнитной совместимости и конструкции стека. Практически используется правило, при котором расстояние между соседними дифференциальными парами принимается не менее двух или трёх толщин диэлектрического слоя между ними и опорной плоскостью.

Четвёртый слой многослойной платы часто выполняется как дополнительный слой земли или питания. Такое распределение слоёв позволяет сформировать симметричную структуру, уменьшающую механические деформации при нагреве и охлаждении.

Для линий с контролируемым сопротивлением важно отсутствие разрывов опорного слоя под трассой. Разрыв приводит к изменению распределения поля и изменению характеристического сопротивления. По этой причине такие линии не проводят над прорезями в полигонах или областями с другим потенциалом [4].

В высокочастотных схемах учитываются также длина линий и задержки распространения сигнала. Однако в платах для низкочастотных устройств эти факторы оказывают меньшее влияние и могут не учитываться на ранних этапах проектирования.

Заключение. Таким образом, проектирование многослойной печатной платы представляет собой последовательный процесс, включающий выбор структуры слоёв, определение технологических ограничений, размещение компонентов и трассировку соединений. Конструктивные решения должны приниматься с учётом электрических параметров схемы, требований компонентов и возможностей производства. Соблюдение изложенных принципов позволяет получить плату с предсказуемыми характеристиками и технологичной конструкцией.

Список литературы

1. Типовые сборки и конструкции печатных плат [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.rezonit.ru/directory/v-pomoshch-konstruktoru/proektirovanie-elementov-konstrukcii-pechatnoj-platy-proizvodstva-v-rezonit/tipovye-sborki-i-konstruktsii-pechatnykh-plat/ Дата доступа: 15.11.2025.

2. Многослойные печатные платы [Электронный ресурс]. Режим доступа: pcbtech.ru Дата доступа: 15.11.2025

3. Практические рекомендации по разработке печатных плат / Тютюков С.А.: Тютюков С.А., 2020. 190 с.

4. Проектирование современных печатных плат.Часть 7. Трассировка сигнальных линий. Дифференциальные пары / Тютюков С.А: Компоненты и технологии, 2018

UDC 621.3.049.75

DESIGN AND PRINCIPLES OF MULTILAYER PRINTED CIRCUIT BOARDS

Shatskiy M.G.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Samuilov I. V. – Senior Assistant at the Department of EET

Annotation. This paper presents systematic methodological recommendations for the design of multilayer printed circuit boards. The full cycle of topology development is considered: from the formation of the layer structure and the selection of structural materials to the final tracing of critical circuits. The material describes the principles of ensuring signal integrity and electromagnetic compatibility.

Keywords. printed circuit board, stackup, routing, differential pair, precision class, prepreg, electromagnetic compatibility.

УДК 004.72+004.92

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ РЕАЛИЗАЦИИ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Середа И.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Нестеренков С.Н. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ПОИТ

Аннотация. Исследование актуальных решений для проектирования и реализации децентрализованных социальных сетей. Рассмотрены различные подходы к организации сети для обработки и хранения данных пользователей. Описаны актуальные архитектуры и примеры их реализаций. Рассмотрены основные проблемы и преимущества каждого из подходов и данного типа систем. Предложены будущие тенденции развития данного направления разработок.

Ключевые слова: децентрализованные социальные сети, архитектурные решения

Введение. Децентрализованные социальные сети представляют собой сеть для распределения данных и запросов для управления ими. В то время как наиболее активно посещаемые социальные сети, такие как *Twitter* или *Instagram*, используют централизованный архитектурный подход, где используется единый сервер для управления данными пользователей, в децентрализованном варианте нет единой главной сущности, диктующей структуру данных и правила управления ими. Децентрализованные системы предоставляют больше контроля пользователям над своими данными, упрощают расширение сети при росте нагрузок и позволяют локализовать различные части сети друг от друга для повышения надежности и приватности данных пользователей. Степень децентрализации разнится от реализаций и зависит от требований к расширяемости, безопасности, надежности, скорости и пользовательскому опыту. Разработка данных систем является крайне трудоемкой задачей, где необходимо реализовать набор правил, поддерживающий распространение данных и действий пользователей, а также их синхронизацию между серверами.

В связи с этим существуют различные схемы организации данных систем, которые и будут рассмотрены в данной работе. Будут рассмотрены не только теоретические сведенья работы различных подходов, но и примеры наиболее совершенных систем и их принципов организации.

Основная часть. Среди актуальных ныне способов организации децентрализованных социальных сетей можно выделить федеративную, *Peer-to-Peer* (*P2P*) и блокчейн архитектуры [1].

Федеративные социальные сети оперируют сетью серверов, между которыми распределены ответственности по хранению и обработке данных пользователей. Чаще всего в таких сетях пользователи могут сами создавать свои сервера в общую сеть, участвуя в обмене данными с другими серверами и предоставляя место для других пользователей. При этом каждый сервер способен работать независимо от остальной сети, предоставляя доступ лишь определенному кругу пользователей. Серьезным вопросом при разработке федеративной социальной сети является организация данных пользователей. Так как защищенность данных пользователя в федеративных системах возлагается на выбранный им сервер, недобросовестные сервера имеют возможность украсть или изменить личную информацию без ведома ее владельца. Современные федеративные социальные сети применяют различные алгоритмы рейтинга и криптозащиты данных для повышения безопасности.

Наиболее популярные социальные сети с федеративной организацией это *Mastodon* и *Bluesky*. *Mastodon* предоставляет возможность создавать полноценные сервера и интегрировать их в общую сеть, в том числе с другими приложениями, интегрирующими

протокол *ActivityPub*. Также возможности протокола *ActivityPub* позволяют определять новые объекты для конкретного сервера, тем самым специализируя их [3]. *Bluesky* децентрализует в первую очередь данные пользователей, оперируя с множеством банков данных. Данные пользователей обрабатываются набором серверов, после чего каждый из пользователей получает обработанный набор данных. Такой подход позволяет серверам иметь более обширное представление о пользователях, предоставляя лучшую аналитику по сравнению с другими подходами, а пользователям удобно переносить и восстанавливать свои данные.

P2P архитектура представляет собой сеть без выделенных серверов, а все взаимодействия происходят напрямую между пользователями. Данные, соответственно, тоже хранятся непосредственно у пользователей, обеспечивая их надежность и переносимость. Для поиска других пользователей в сети могут быть применены различные сторонние методы поиска (распределённые хеш таблицы, активное сканирование). Главными недостаткоми сети в таком виде является ее плохая расширяемость относительно количества пользователей и доступность данных. Поэтому современные реализации используют промежуточные сервера для упрощения адресации между пользователями и ускорения запросов по поиску необходимой информации.

Nostr – один из наиболее актуальных протоколов для организации *P2P* социальной сети через сеть промежуточных серверов. Каждый пользователь имеет свою пару криптографических ключей для подтверждения подлинности постов.

Блокчейн архитектура организует все посты в качестве транзакций в общий публичный реестр. Действия пользователей преобразуются в блоки, после чего сеть рабочих компьютеров подтверждает подлинность данного блоков в обмен за награду. Блокчейн системы могут быть реализованы различным образом, в том числе поверх уже существующих криптовалют. Данная структура создает публично верифицируемую и открытую социальную сеть, практически не подвергаемую цензуре. Главной же проблемой данной структуры является высокая стоимость проведения транзакций, из-за чего стоимость хранения данных в публичном реестре крайне высока. Это ограничение может быть частично нивелирована использованием стороннего сервиса для хранения большинства данных, в то время как блокчейн лишь является подтверждением подлинности данных. Также невозможность скрыть приватную информацию (например, личные сообщения) сильно ограничивает область применения подобных систем.

Среди социальных сетей с блокчейн архитектурой можно выделить *Lens Protocol*, организованный поверх платформы *Polygon*, в которой все действия сохраняются как невзаимозаменяемый токены в сети, а данные сохранены во внешних хранилищах.

Ни одну из данных архитектур невозможна назвать оптимальной или общепринятой. Хоть наибольшее распространение на данный момент имеет федеративная организация сети, повышенный порог входа из-за особенностей реализации не позволяют таким сетям как *Bluesky* и *Mastodon* предоставить тот же опыт удобства пользовательского взаимодействия, что и привычные широкому кругу пользователей социальные сети. Другие же архитектуры не получили широкого распространения в силу ограниченности возможностей. Среди наиболее актуальных проблем для децентрализованных социальных сетей всех видов можно выделить:

– предоставление пользователям анонимности переписки;
– модерация контента и способы контроля авторизации в систему;
– синхронизация данных между пользователями;
– разработка сценариев работы при частичной или полной недоступности узлов сети.

Помимо этого, адаптация децентрализованных социальных сетей широким кругом пользователей усложняется из-за доминантного положения классических социальных сетей на рынке. Многие варианты архитектур и реализаций для децентрализованных социальных сетей были предложены лишь в виде теоретических моделей и не были в полной мере реализованы и развернуты в глобальной сети. Среди таких можно выделить следующие сети: *Safebook*, предложивший *P2P* организацию с использованием множества слоев нод различных уровней для структурирования поиска; *DECENT*, организующий сеть через множество модульных

систем, каждая из которых независима от других и способна к расширению; *FOAF+SSL*, реализующий взаимодействие пользователей на основе *SSL* сертификатов для подтверждения личности пользователей [4].

Имеется возможность реализации гибридной архитектуры, использующий элементы нескольких архитектур сразу. В основном были предложены варианты интеграции *P2P* и блокчейн архитектур. За последние годы было теоретически разработано множество подобных решений, но на данный момент доступных с конкретно гибридным подходом нет. Тем не менее, как и во многих сферах разработки ПО, оптимальные решения используются вне зависимости от архитектур, из-за чего можно ожидать большее число гибридных решений.

Заключение. В заключение можно сказать, что несмотря на все сложности реализации, все еще остается набор веских причин для продолжения разработки архитектурных решений и программных средств для реализации децентрализованных социальных сетей. В первую очередь это контроль над своими данными. Децентрализованные системы предоставляют среду, в которой пользователь сам выбирает лицо для управления своими данными. Это порождает возможности удобной миграции данных, контроль на алгоритмами рекомендаций, контроль уровня приватности данных. Практически все предложенные варианты архитектур стремятся распределить данные равномерно по сети тем или иным образом. Примеры успешно развивающихся социальных сетей с децентрализованной структурой показывают позитивную тенденцию привлечения пользователя к социальным сетям без централизованного контроля. Развитие текущих архитектур является важной ступенью на пути к общемировой адаптации децентрализованных сетей.

Список литературы

1. *Jeong U, Ng LH, Carley KM, Liu H. Navigating decentralized online social networks: An overview of technical and societal challenges in architectural choices. / arXiv preprint arXiv:2504.00071, 2025.*

2. *Thomas Paul, Antonino Famulari, Thorsten Strufe, A survey on decentralized Online Social Networks. / Computer Networks – 2014 – Vol 75, Part A – Pp. 437-452.*

3. *Nian S, Huang A, Reed B. Building a Mastodon Compatible Java Server for ActivityPub. / arXiv preprint arXiv:2412.09011. 2024.*

4. *Yeung CM, Liccardi I, Lu K, Seneviratne O, Berners-Lee T. Decentralization: The future of online social networking. / Linking the world's information: essays on tim berners-lee's invention of the world wide web – 2023 – Pp. 187-199.*

5. *Datta A, Buchegger S, Vu LH, Strufe T, Rzadca K. Decentralized online social networks. / Handbook of social network technologies and applications – 2010 – Pp. 349-378 – Springer, New York, NY.*

UDC 004.72+004.92

MODERN APPROACHES TO IMPLEMENTING DECENTRALIZED SOCIAL NETWORKS

Serada I.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Nesterenkov S.N. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ITS

Annotation. This paper examines current solutions for the design and implementation of decentralized social networks. Various approaches to organizing a network for processing and storing user data are considered. Current designs and implementation examples are described. The main challenges and advantages of each approach and system of this type are discussed. Future trends in this area of research are proposed.

Keywords: decentralized social networks, architectural solutions.

УДК 62.783.1

РАЗРАБОТКА ЛОКАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АКУСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА С ФУНКЦИЕЙ ДЕТЕКЦИИ КРИТИЧЕСКИХ ЗВУКОВ В ЗАДАННОМ ДИАПАЗОНЕ ДЕЦИБЕЛ И ЭКСТРЕННЫМ ОПОВЕЩЕНИЕМ НАСЕЛЕНИЯ ЧЕРЕЗ МОБИЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Мишук В.Е.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Бересневич А.И. – магистр техн. наук, ст. преподаватель кафедры ПИКС

Аннотация. В статье рассматривается идея разработки специализированной системы акустического мониторинга, предназначенной для реагирования на критические звуки в заданном диапазоне частот и децибел в условиях городской среды и местах массового пребывания людей. Анализируются принципы работы модуля обнаружения, основанного на обработке характеристик звука и сравнении с заданными диапазонами для отсеивания не подходящих во избежание ложных срабатываний. Идея интегрирования системы с протоколами экстренного оповещения, обеспечивающей мгновенную рассылку геолокационных сигналов тревоги на мобильные устройства граждан, находящихся в радиусе срабатывания системы. Рассматриваются ключевые аспекты повышения стиуационной осведомлённости, сокращения времени реагирования и минимизации рисков для граждан.

Ключевые слова: акустический мониторинг, система обнаружения звуков, интеллектуальная детекция, экстренное оповещение населения, геолокация, *Cell Broadcast*, безопасность мест массового пребывания.

Введение. Современные системы безопасности мест массового пребывания людей в основном осуществляются через видеокамеры (визуальный контроль). Однако критически важные события часто идентифицируются по звуку (крики, шум падения, звуки разрушений), который не всегда может быть передан видеокамерой. Традиционные методы оповещения (громкоговорители, сирены) не всегда эффективны в условиях городского шума и не позволяют адресно проинформировать только тех граждан, которым угрожает непосредственная опасность. Также они способны лишь больше разжечь панику и дезориентировать граждан. Разработка систем, которые способны автоматически отслеживать критические звуки и мгновенно оповещать людей в зоне риска через их мобильные устройства, является актуальной задачей повышения безопасности.

Основная часть. Система акустического мониторинга представляет собой программно-аппаратный комплекс, состоящий из чувствительных датчиков (микрофонов), модуля обработки сигналов и модуля оповещения. В отличие от стандартных приборов, показывающих уровень шума, задачей системы является не просто измерение уровня громкости в децибелах, а классификация источника звука. Ключевым элементом является модуль детекции, работающий в заданном диапазоне, например, от 80 дБ и выше, что позволяет игнорировать фоновый шум и фокусироваться на потенциально опасных акустических событиях [1].

1 Алгоритмы обработки и фильтрации. Для идентификации угроз рекомендуется использовать методы спектрального анализа и машинного обучения. Звуковой сигнал преобразуется в спектрограмму, после чего искусственный интеллект может сравнить его с заданными шаблонами. Важнейшей задачей является отсеивание ложных срабатываний, так как система должна отличать звук разбитого стекла, петарды криков нескольких людей от хлопка двери, грома, плача ребенка. В местах массового пребывания людей, где высока плотность случайных звуков, шумов, качество фильтрации должно быть приоритетной задачей.

2 Принцип геолокационного оповещения. После подтверждения факта критического события, превышение порога громкости и совпадение полученной спектрограммы с заданным шаблоном, система определяет координаты инцидента и включает модуль экстренного оповещения. Интеграция с сотовыми сетями позволяет использовать технологию *Cell Broadcast*, при которой сигнал тревоги рассылается на все мобильные устройства, подключенные к базовым станциям в заданном радиусе, например 500 метров от места срабатывания датчика [2]. Это гарантирует получение сигнала гражданами с ограниченными возможностями, а также людям, у которых отключен звук на телефоне. Это позволяет избежать паники среди населения, находящегося за пределами опасной зоны.

3 Преимущества и недостатки подхода. При оценке эффективности внедрения систем акустического мониторинга с функцией экстренного оповещения необходимо учитывать как их явные преимущества перед традиционными методами обеспечения безопасности, так и существующие ограничения, связанные с технической реализацией и инфраструктурными требованиями.

Преимуществами системы являются:

– реакция на автоматическое оповещение гораздо быстрее, чем при визуальном обнаружении через видеокамеры или при звонке очевидца.

– информирование только людей в зоне реальной опасности не допускает поднятие паники вне зоны, где была зафиксирована угроза.

– в отличие от видео, звуковые датчики работают одинаково эффективно днем и ночью, а также в условиях ограниченной обзорности и недостаточной видимости.

– автоматизация процесса первичного обнаружения позволяет снизить нагрузку на операторов служб экстренного реагирования.

К недостаткам можно отнести сложность настройки алгоритмов распознавания под конкретную акустическую среду города, высокую стоимость высокоточных датчиков и зависимость от инфраструктуры сотовых операторов для реализации рассылки. Недостатками также являются высокая стоимость высокоточных акустических датчиков и необходимость их размещения с определенной плотностью, обеспечивая точную детекцию источника звука, увеличивают бюджет внедрения системы, особенно на крупных территориях со сложной архитектурой. Зависимость от инфраструктуры сотовых операторов для реализации механизма рассылки геолоцированных оповещений накладывает ограничения на зону покрытия, требует заключения соглашений с провайдерами связи и создает риски сбоев при перегрузке сетей в момент чрезвычайной ситуации.

Однако, несмотря на перечисленные недостатки, развитие технологий обработки сигналов и повсеместное распространение мобильной связи создают предпосылки для постепенного преодоления указанных ограничений. Совершенствование методов машинного обучения позволяет повышать точность распознавания звуков, а внедрение стандартов *4G* и *5G* и технологии *Cell Broadcast* открывает новые возможности для надежного и быстрого оповещения населения.

4 Интерес представляет зарубежный опыт интеграции систем детекции угроз с мобильными протоколами оповещения. В частности, израильская национальная система оповещения «Цева Адом» (ивр. אדום צבע – «Красный цвет») демонстрирует эффективность подхода, основанного на автоматическом выявлении источника опасности с помощью радиолокационных средств и последующей рассылке сигнала тревоги населению, находящемуся в зоне потенциального поражения [3]. С 2014 года оповещения системы доступны через мобильные приложения, а в настоящее время Командование тыла Израиля использует технологию *Cell Broadcast*, позволяющую мгновенно рассылать геолоцированные предупреждения на все мобильные устройства в опасном радиусе даже при перегруженности сетей [4]. Адаптация данного принципа для задач акустической детекции критических уровней шума позволяет создать локальный «цифровой периметр» безопасности в местах массового пребывания людей [5].

Заключение. Разработка и внедрение систем акустического мониторинга с функцией детекции критических звуков и последующим оповещением населения через мобильные устройства является перспективным направлением повышения безопасности в местах массового пребывания людей. Система позволяют сократить время реагирования экстренных служб, предупредить граждан адресно, без лишней паники, повышая их шансы на избежание опасности. Технические сложности, связанные с фильтрацией шумов и интеграцией с телеком-операторами, не должны останавливать развитие данного направления, что позволит создать более эффективный уровень общественной безопасности.

Список литературы

1. *Быков А.В, Методы и алгоритмы обнаружения и классификации акустических сигналов в системах безопасности: учеб. пособие / А.В. Быков, Н.Н. Смирнов. – Москва : МГТУ им. Баумана, 2021. – 120 с.*

2. *Петров, И.С. Системы оповещения населения: от сирен до Cell Broadcast / И.С. Петров – Технологии гражданской безопасности, 2023. – 51 с.*

3.Цева адом / Википедия. Свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Цева_адом – Дата доступа: 06.03.2026.

4. «Тыловой вой». Как дозвониться всему Израилю на выключенные телефоны [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://m.47news.ru/articles/271258/. – Дата доступа: 06.03.2026.

5. New: Local authorities will be able to send emergency burst messages to cell phones [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ch10.co.il/en/news/952474/ – Дата доступа: 06.03.2026.

UDC 62.783.1

THE USE OF INTEGRATED VIDEO SURVEILLANCE SYSTEMS WITH A MODULE FOR DETECTING ABANDONED ITEMS, MONITORING AND ACCESS CONTROL IN PLACES OF MASS PRESENCE OF PEOPLE

Mishuk V.E.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Beresnevich A.I.. – Master of Tech. Sci., Senior Lecturer at the Department of ICSD

Annotation. The article discusses the concept of developing a specialized acoustic monitoring system designed to respond to critical sounds within a specified frequency and decibel range in urban environments and places of mass gathering. The operating principles of the detection module are analyzed, which is based on processing sound characteristics and comparing them with predefined ranges to filter out irrelevant sounds in order to prevent false alarms. The idea of integrating the system with emergency notification protocols is considered, enabling instant distribution of geolocated alert signals to the mobile devices of citizens within the system's activation radius. Key aspects of improving situational awareness, reducing response time, and minimizing risks to citizens are examined.

Keywords: acoustic monitoring, sound detection system, intelligent detection, emergency public notification, geolocation, safety of mass gathering places.

УДК 004.62:34.096

ВЕБ-СКРЕЙПИНГ И ЭТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СБОРА ИНФОРМАЦИИ

Гимпель К.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Нестеренков С.Н. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ПОИТ

Аннотация. В статье рассматриваются технологические и правовые основы веб-скрейпинга как метода автоматизированного сбора структурированных данных из открытых интернет-источников. Проводится анализ этических и юридических рисков, возникающих при его применении.

Ключевые слова: веб-скрейпинг, сбор данных, персональные данные.

Введение. В условиях цифровизации общества и стремительного роста объёмов информации, размещаемой в сети Интернет, возрастает потребность в эффективных методах её сбора и анализа. Значительная часть таких данных представлена в неструктурированном виде и предназначена прежде всего для восприятия человеком, что существенно усложняет их последующую автоматизированную обработку.

Основная часть. Одним из подходов к решению задачи является веб-скрейпинг – технология автоматизированного извлечения (сбора) структурированных данных с веб-страниц с помощью программного обеспечения, которое имитирует действия человека в веб-браузере для получения доступа к содержимому и его дальнейшей обработки. Веб-скрейпинг находит широкое применение в анализе рынков, мониторинге цен, академических исследованиях и многих других областях. Его использование позволяет формировать массивы данных, пригодные для последующего статистического анализа и машинного обучения.

Вместе с тем расширение практики использования веб-скрейпинга актуализирует вопросы правомерности и допустимости его применения. Автоматизация процесса сбора информации снижает порог доступа к данным, однако одновременно повышает риск нарушения прав субъектов информации и владельцев интернет-ресурсов. Это требует комплексного рассмотрения не только технических возможностей, но и сопутствующих юридических и этических ограничений.

В Республике Беларусь информация по категории доступа делится на общедоступную и информацию, распространение и (или) предоставление которой ограничено. Так вот скрейпинг информации, доступ к которой ограничен, является незаконным. К такой информации относятся сведения о частной жизни физических лиц и персональные данные, государственные секреты, служебная информация ограниченного распространения, а также коммерческая, банковская и иная охраняемая законом тайна. Соответственно сбор общедоступных данных, таких как открытые цены в интернет-магазинах или публикации в новостных лентах, как правило, признается правомерным. Проблема возникает при автоматическом сборе телефонных номеров, адресов электронной почты, фамилий и имен пользователей с форумов, досок объявлений или профилей в социальных сетях без явного согласия субъектов данных. Такие действия нарушают законодательство о защите персональных данных.

Кроме того, правовые аспекты веб-скрейпинга тесно связаны с соблюдением технических и договорных ограничений, устанавливаемых владельцами веб-ресурсов. В соответствии с положениями статьи 20 Закона «Об информации, информатизации и защите информации», «Порядок распространения и (или) предоставления информации … определяется соглашением субъектов соответствующих информационных отношений, если иное не установлено законодательными актами» [1]. Почти у каждого сайта присутствует текстовый файл robots.txt, который содержит инструкции для поисковых роботов, о том какие страницы сайта они могут сканировать и индексировать, а какие нет. Таким образом содержание этого файла – это прямое техническое указание владельца ресурса, запрещающее доступ для роботов (включая скрейперов) на конкретные страницы. Его игнорирование может

рассматриваться как нарушение установленного «порядка предоставления информации». Дополнительно многие сервисы включают в пользовательские соглашения явные запреты на автоматизированный сбор данных. Нарушение таких условий способно повлечь гражданско-правовую ответственность, связанную с неисполнением договорных обязательств.

Помимо строгого следования букве закона, ответственное использование веб-скрейпинга предполагает соблюдение ряда этических принципов. К ним относится уважение к ресурсам целевого веб-сайта. Интенсивные автоматизированные запросы могут создавать избыточную нагрузку на сервер, приводя к замедлению работы или даже отказу в обслуживании для обычных пользователей. Поэтому важно реализовывать механизмы, ограничивающие частоту запросов и собирать только те данные, которые действительно необходимы для достижения заявленной цели. С технической стороны это может выражаться в настройке произвольных пауз между запросами, использовании кэширования уже полученных данных и работе в периоды наименьшей нагрузки на сервер.

Этический подход также подразумевает прозрачность целей сбора данных. В случаях, когда скрейпинг проводится в исследовательских или академических целях, целесообразно по возможности уведомлять администраторов ресурсов о характере и масштабах сбора данных. Это не только минимизирует риски конфликта, но и способствует формированию доверия между исследователями и владельцами цифровых платформ. Подобная коммуникация может выявить существующие интерфейсы прикладного программирования (API), использование которых является более предпочтительным и легитимным методом получения данных, поскольку они специально предназначены для программного взаимодействия и часто имеют встроенные ограничения по частоте запросов.

Необходимо также учитывать долгосрочные последствия скрейпинга для целостности информационной экосистемы. Массовый автоматизированный сбор может искажать аналитику, доступную владельцам ресурсов, например, данные о трафике, и влиять на их бизнес-решения. Более того, он может провоцировать ответные меры – усиление технических барьеров, таких как внедрение CAPTCHA, блокировка IP-адресов или усложнение структуры сайта, что в конечном счете усложняет доступ к информации для всех сторон, включая законных пользователей.

Заключение. Веб-скрейпинг представляет собой инструмент для работы с большими объемами информации, применение которого требует взвешенного подхода на стыке технологий, права и этики. Правомерность сбора данных определяется не только их формальной доступностью, но и соблюдением законодательных норм, в частности касающихся защиты персональных данных и коммерческой тайны, а также уважением к техническим ограничениям, установленным владельцами ресурсов.

Список литературы

1. Об информации, информатизации и защите информации [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь, 10 нояб. 2008 г., № 455-З // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2026. – Режим доступа: https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=H10800455. – Дата доступа: 11.02.2026.

UDC 004.62:34.096

WEB SCRAPING AND ETHICAL ASPECTS OF INFORMATION COLLECTION

Gimpel K.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Nesterenkov S.N. – Cand. of Sci., associate professor of the department of ITS

Annotation. The article discusses the technological and legal foundations of web scraping as a method of automated collection of structured data from open Internet sources. The ethical and legal risks arising from its application are analyzed.

Keywords: web scraping, data collection, personal data.

УДК 004.415.533:004.774

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕСТИРОВАНИЯ ВЕБ-API: POSTMAN/NEWMAN И КОД-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ФРЕЙМВОРКИ

Кривоносова М.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Косарева Е.М. – ассистент кафедры ПИКС

Аннотация. Выполнен сравнительный анализ подходов к автоматизации тестирования веб-API на основе Postman/Newman и код-ориентированных фреймворков (REST Assured для Java, pytest для Python). Рассмотрены особенности организации тестовых сценариев, управления окружениями и данных, а также применения проверок на разных этапах жизненного цикла разработки. Установлено, что подход на основе Postman/Newman обеспечивает минимальное время внедрения и ориентирован на оперативную сценарную верификацию с возможностью интеграции запусков в CI/CD, тогда как код-ориентированный подход демонстрирует более высокую масштабируемость и сопровождаемость при росте тестового контура за счёт построения тестов как части программного репозитория и использования повторно применяемых компонентов.

Ключевые слова: веб-API, автоматизация тестирования, Postman, Newman, REST Assured, CI/CD, контрактное тестирование, негативные сценарии

Введение. Современные программные системы все чаще строятся по принципу сервис-ориентированной архитектуры, где взаимодействие компонентов и внешних потребителей реализуется посредством веб-интерфейсов прикладного программирования (API). В таких условиях API выступает «контрактом» взаимодействия между подсистемами, поэтому качество и корректность его функционирования становится одним из ключевых факторов надежности и устойчивости всей системы. Ошибки на уровне интерфейса приводят не только к сбоям отдельных операций, но и к нарушению работы связанных сервисов и клиентских приложений. Это повышает требования к регулярной проверке и воспроизводимости тестирования.

На сегодняшний день в практике автоматизации тестирования веб-API сформировались два подхода к решению данной задачи. Первый подход является инструментальным и представлен платформой Postman, а также её консольным компонентом Newman, позволяющим выполнять коллекции запросов в автоматическом режиме. Второй подход является код-ориентированным и опирается на специализированные фреймворки и библиотеки, такие как REST Assured для Java или библиотека requests в сочетании с pytest для Python, где тестовые сценарии реализуются в виде программного кода и развиваются вместе с проектом. Настоящая работа посвящена сравнительному анализу указанных подходов и выявлению их особенностей с точки зрения практического применения в задачах автоматизации тестирования веб-API [1].

Основная часть. Подход Postman/Newman можно описать как сценарно-коллекционный. Тестировщик формирует коллекцию запросов к API, настраивает окружения, добавляет предусловия и проверки в виде скриптов. В Postman проверки реализуются в песочнице на JavaScript через объект pm, а ключевой механизм спецификаций тестов – pm.test, который связывает читаемое имя проверки и функцию-утверждение. Результаты отображаются в выводе выполнения запросов. Этот формат удобен на ранних этапах, когда API ещё меняется, а команда параллельно уточняет требования и ожидаемое поведение [2].

Newman продолжает эту же модель, но переносит запуск коллекций в командную строку. По сути, Newman запускает Postman-коллекции без графического интерфейса и позиционируется как инструмент для интеграции с системами сборки и CI/CD, где важны воспроизводимость и автоматический запуск по расписанию или на каждый коммит. Благодаря этому один и тот же набор сценариев может работать как локально у инженера, так и в конвейере поставки [3].

Код-ориентированный подход строится иначе: тесты являются частью программного репозитория и пишутся на различных языках программирования с использованием библиотек для HTTP-вызовов и фреймворков для запуска тестов. В практике для задач автоматизированного тестирования REST-сервисов выделяется библиотека REST Assured, ориентированная на удобочитаемую проверку HTTP-взаимодействий в Java и поддерживающая построение запросов и валидацию ответов. Назначение такого инструмента заключается в переводе тестирования веб-API в плоскость декларативно и семантически выразимого кода, где предусловия, выполняемое действие и критерии корректности результата формализуются как взаимосвязанные элементы единого тестового сценария [4].

В Python схожую роль играет связка библиотек HTTP-клиента с тестовым раннером. Pytest позиционируется как фреймворк, который помогает писать небольшие читаемые тесты и при необходимости масштабировать набор до сложного функционального тестирования. В автоматизации тестирования API это обеспечивает поддержку параметризации, применение фикстур для подготовки окружения и тестовых данных, расширяемость за счёт плагинов, а также интеграцию с процессами разработки программного обеспечения (версионирование, ревью, CI/CD) [5].

Для проведения сравнительного анализа подходов Postman/Newman и код-ориентированных фреймворков выбраны критерии, отражающие ключевые аспекты жизненного цикла автоматизации тестирования веб-API. В качестве основы использованы параметры, непосредственно влияющие на практическую применимость решения в проекте (таблица 1).

Таблица 1 – Обоснование выбора критериев сравнительного анализа

Критерий	**Описание критерия**
Время первоначального развёртывания автоматизации	характеризует скорость подготовки и запуска первых автотестов, включая настройку окружения и получение воспроизводимых результатов
Масштабируемость и сопровождаемость автоматизации в длительной перспективе	отражает способность подхода поддерживать рост тестового контура с минимальными издержками за счёт повторного использования компонентов и единообразной структуры
Практики версионирования и совместной разработки	определяет удобство коллективного внесения изменений и их контроля в системе версионирования, включая прозрачность диффов и разрешение конфликтов
Управляемость тестовыми данными и окружениями	описывает средства подготовки, хранения и воспроизводимого использования параметров окружения и тестовых данных при выполнении сценариев
Контроль соответствия API формальному описанию интерфейса	оценивает возможность системной проверки соблюдения правил интерфейса (структуры ответов, типов полей, кодов и формата ошибок) при изменениях API
Поддержка безопасности и «негативных» сценариев	характеризует пригодность подхода для реализации и масштабирования проверок ошибок, авторизации/аутентификации, пограничных значений и иных негативных воздействий

При сопоставлении рассматриваемых подходов по критерию времени первоначального развёртывания автоматизации преимущество демонстрирует Postman. Наличие графического интерфейса, механизма коллекций и типовой модели формирования запросов и проверок снижает порог входа и ускоряет прототипирование тестовых сценариев. Это востребовано на практике при необходимости быстро сформировать минимальный регрессионный контур либо воспроизвести дефект в контролируемых условиях. Но вместе с этим проявляются характерные ограничения коллекционного подхода: усложняется организация повторного использования общих компонентов, затрудняется поддержание единообразия оформления сценариев, а проверочная логика концентрируется в виде множества встроенных скриптов. В код-ориентированной парадигме предпосылки масштабируемости закладываются исходно: общие HTTP-клиенты, абстракции доменных операций, генераторы тестовых данных и унифицированные механизмы логирования. Они формируются средствами языка программирования и принятых процессов командной разработки. Postman целесообразно рассматривать как инструмент быстрого накопления и верификации сценариев, а кодовые

фреймворки обеспечивают более устойчивую управляемость и сопровождаемость автоматизации в длительной перспективе [6].

Практики версионирования и совместной разработки также выявляют различие подходов. В Postman предусмотрена возможность экспорта коллекций и их хранения в системе контроля версий, а также выполнения в CI посредством Newman. Но при параллельном редактировании коллекций несколькими участниками возникающие конфликты при слиянии версий в системе контроля версий часто сложнее анализировать и корректно разрешать, чем аналогичные конфликты в исходном коде. В код-ориентированном подходе тесты включаются в стандартный контур командной разработки. Изменения проходят процедуру code review, доступны средства статического анализа. Инструменты разработки (IDE) обеспечивают поддерживаемый рефакторинг и унификацию структуры проекта [7].

Отдельный критерий – управляемость тестовыми данными и окружениями. В Postman это решается переменными окружений, пред- и пост-скриптами и цепочками запросов, где данные извлекаются из ответа и подставляются в следующий шаг. В код- ориентированном подходе тот же сценарий обычно оформляется как явная подготовка данных через фикстуры, фабрики и клиенты. Это делает зависимости более видимыми и облегчает локализацию причины падения [8].

Ещё один критерий сопоставления – контроль соответствия API формальному описанию интерфейса (контракту). Это проверка того, что структура запросов и ответов, обязательность и типы полей, коды HTTP-ответов и формат ошибок соответствуют установленным правилам. В Postman/Newman подобные проверки обычно задаются на уровне отдельных запросов (через локальные утверждения и скрипты, привязанные к конкретным сценариям выполнения). Такой подход удобен для быстрой верификации, но при расширении покрытия возрастает риск дублирования однотипных проверок и усложняется поддержание единообразия при изменениях API.

В код-ориентированной парадигме контрактные требования проще формализовать централизованно. Общие правила интерфейса могут быть вынесены в повторно используемые компоненты (унифицированные ассёрты, валидаторы структуры ответов, единые модели ошибок), после чего применяться во всех тестах системно и согласованно. Это повышает управляемость регрессионного контура. Изменения в интерфейсе отражаются в общих проверках и автоматически распространяются на весь набор тестов. Это снижает вероятность рассогласования между фактическим поведением сервиса и ожидаемыми условиями корректности [9].

Также при оценке подходов следует учитывать поддержку безопасности и «негативных» сценариев. Даже при фокусе на функциональной корректности автоматизированное тестирование API практически неизбежно включает проверки механизмов аутентификации и авторизации, корректности обработки некорректных входных данных, соблюдения ограничений на ресурсы и устойчивости к повторным запросам. В рамках Postman/Newman реализация подобных проверок осуществляется на уровне сценариев коллекции (через последовательности запросов, переменные окружения и локальные скрипты утверждений). Такой подход удобен для быстрой верификации типовых security-сценариев и воспроизведения уязвимых последовательностей. Но при росте числа проверок усложняется управление наборами входов и систематизация негативных кейсов, так как логика генерации и вариативности часто распределяется по множеству запросов и скриптов. В код-ориентированном подходе негативное и security-тестирование легче масштабируется за счёт параметризации, фабрик тестовых данных и повторно используемых модулей авторизации/клиентов. Это позволяет запускать большие серии проверок с контролируемым покрытием (комбинации ролей, токенов, границ значений) [10].

Для обобщения результатов сравнительного анализа и наглядного представления различий между инструментальным подходом Postman/Newman и код-ориентированными фреймворками выполнено сопоставление по ранее выбранным критериям. В таблице 2 представлено обобщение различий, связанных с организацией тестов, их развитием, совместной работой, управлением данными, контролем контрактной согласованности и реализацией негативных и security-сценариев.

Таблица 2 – Сопоставление подходов Postman/Newman и код-ориентированных фреймворков по выбранным критериям

Критерий	***Postman/Newman***	**Код-ориентированные фреймворки**
Время первоначального развёртывания автоматизации	меньшие временные затраты на стартовую настройку и получение первых сценарных проверок за счёт графического интерфейса и механизма коллекций	большие временные затраты на стартовую настройку, обусловленные необходимостью реализации тестов в виде программного кода и организации запуска
Масштабируемость и сопровождаемость автоматизации в длительной перспективе	при росте тестового набора возрастает трудоёмкость сопровождения из-за усложнения повторного использования общих компонентов, поддержания единообразия оформления и концентрации логики во встроенных скриптах	масштабируемость обеспечивается исходной организацией общих HTTP-клиентов, абстракций доменных операций, генераторов тестовых данных и унифицированных механизмов логирования
Практики версионирования и совместной разработки	поддерживается экспорт коллекций и хранение в системе контроля версий; при параллельном редактировании усложняется анализ и корректное разрешение конфликтов слияния	тесты включаются в стандартный контур командной разработки; изменения проходят code review, применимы средства статического анализа и поддерживаемый рефакторинг в IDE
Управляемость тестовыми данными и окружениями	управление реализуется через переменные окружений, пред- и пост-скрипты и цепочки запросов, где данные извлекаются из ответа и подставляются в следующий шаг	управление реализуется через фикстуры, фабрики и клиентов, что обеспечивает явную подготовку данных и делает зависимости более видимыми
Контроль соответствия API формальному описанию интерфейса	проверки соответствия задаются на уровне отдельных запросов через локальные утверждения и скрипты, привязанные к конкретным сценариям выполнения	контрактные требования формализуются централизованно в повторно используемых компонентах и применяются системно и согласованно ко всему тестовому набору
Поддержка безопасности и «негативных» сценариев	реализация проверок выполняется в рамках сценариев коллекции (последовательности запросов, переменные окружения, локальные скрипты утверждений); при росте числа проверок усложняется управление наборами входов и систематизация негативных кейсов	масштабирование негативных и security-проверок обеспечивается параметризацией, фабриками тестовых данных и повторно используемыми модулями авторизации/клиентов, что позволяет выполнять большие серии проверок с контролируемым покрытием

Выполненное сопоставление подходов Postman/Newman и код-ориентированных фреймворков по выбранным критериям позволило охарактеризовать особенности их применения в задачах автоматизации тестирования веб-API. В ходе анализа показано, что различия между подходами проявляются не только на этапе формирования первых сценариев, но и при дальнейшем развитии тестового контура: в организации повторного использования общих компонентов, поддержании единообразия проверок, управлении тестовыми данными и окружениями, а также в способах формализации требований к интерфейсу и реализации негативных и security-сценариев. Табличная форма обеспечила структурирование выявленных различий и позволила представить их в едином формате, пригодном для практического применения при проектировании автоматизации на конкретном проекте. Полученные положения формируют основу для последующей формулировки выводов о целесообразности применения каждого из подходов в зависимости от масштаба системы, динамики изменений API и требований к управляемости и воспроизводимости тестирования.

Заключение. Выполнен сравнительный анализ подходов к автоматизации тестирования веб-API на базе Postman/Newman и код-ориентированных фреймворков. Установлено, что его применение обеспечивает минимальные затраты на первоначальное развёртывание и позволяет быстро формировать сценарные наборы проверок с воспроизводимым запуском в средах CI/CD.

Код-ориентированный подход обеспечивает улучшенную управляемость автоматизации в длительной перспективе за счёт применения повторно используемых абстракций, централизованной формализации контрактных требований и эффективного масштабирования негативных и security-сценариев.

Список литературы

1. Тестирование программного обеспечения : учеб. пособие / С. С. Куликов, Г. В. Данилова, О. Г. Смолякова, М. М. Меженная. – Минск : БГУИР, 2019. – 276 с. : ил. – ISBN 978-985-543-462-8.2.

2. Writing tests and assertions in scripts (pm.test, pm.expect) / Postman // Postman Learning Center [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://learning.postman.com/docs/tests-and-scripts/write-scripts/postman-sandbox-reference/pm-test-expect (дата обращения: 02.03.2026).

3. Run and test collections from the command line using Newman CLI / Postman // Postman Learning Center [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://learning.postman.com/docs/collections/using-newman-cli/command-line-integration-with-newman (дата обращения: 02.03.2026).

4. Лось, Н. А. Автоматизация тестирования REST сервисов с помощью REST Assured / Н. А. Лось, А. Л. Ярошенко // 54-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. – Минск : БГУИР, 2018. – С. 74–75.

5. How to use fixtures / pytest Development Team // pytest documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.pytest.org/en/stable/how-to/fixtures.html (дата обращения: 02.03.2026).

6. Козак, У. М. Автоматизация процесса тестирования и отчетности на проекте Web-Insync в ЗАО «Альфа-Банк» = Automation of the testing and reporting process on the Web-Insync project at Alfa-Bank / У. М. Козак, В. Г. Лунин // «BIG DATA and Advanced Analytics. BIG DATA и анализ высокого уровня» : сборник научных статей X Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 13 марта 2024 г. : в 2 ч. Ч. 2 / БГУИР. – Минск, 2024. – С. 54–65.

7. Лось, Н. А. Автоматизация тестирования web-приложений как часть процесса continius integration / Н. А. Лось, А. Л. Ярошенко // 55-я юбилейная научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. – Минск : БГУИР, 2019. – С. 165.

8. Store and reuse values using variables / Postman // Postman Learning Center [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://learning.postman.com/docs/sending-requests/variables/variables/ (дата обращения: 02.03.2026).

9. OpenAPI Specification. Version 3.1.0 / OpenAPI Initiative [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: https://spec.openapis.org/oas/v3.1.0.html (дата обращения: 02.03.2026).

10. OWASP Top 10 API Security Risks – 2023 / OWASP Foundation [Электронный ресурс]. – 2023. – Режим доступа: https://owasp.org/API-Security/editions/2023/en/0x11-t10/ (дата обращения: 02.03.2026)

UDC 004.415.533:004.774

COMPARATIVE ANALYSIS OF WEB API TEST AUTOMATION APPROACHES: POSTMAN/NEWMAN AND CODE-ORIENTED FRAMEWORKS

Krivonosova M.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Scientific advisor: Kosareva E.M. – Assistant Lecturer, Department of ICSD

Annotation. A comparative analysis of web API test automation approaches based on Postman/Newman and code-oriented frameworks (REST Assured for Java, pytest for Python) is presented. The study examines the specifics of organizing test scenarios, managing environments and test data, and applying checks at different stages of the software development lifecycle. It is established that the Postman/Newman-based approach requires minimal initial setup time and is aimed at rapid scenario verification with the possibility of integrating runs into CI/CD, whereas the code-oriented approach demonstrates higher scalability and maintainability as the test suite grows due to embedding tests into the project repository and using reusable components.

Keywords: web API, test automation, Postman, Newman, REST Assured, CI/CD, contract testing, negative scenarios

УДК 004.89:37.016

МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ УЧЕБНЫМ КОНТЕНТОМ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОМ СЕРВИСЕ РЕШЕНИЯ УЧЕБНЫХ ЗАДАЧ

Намдаг Т. Ц.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Косарева Е. М. – магистр, ассистент кафедры ПИКС.

Аннотация. В статье рассматривается модель управления учебным контентом в интеллектуальном образовательном сервисе, предназначенном для автоматизации процесса решения учебных задач школьного и университетского уровня. Предлагаемый подход основан на использовании искусственного интеллекта для генерации пошаговых объяснений решений и структурирования учебных материалов. Описаны основные компоненты системы управления контентом, включая хранение задач, их классификацию, обработку запросов пользователей и формирование объяснений. Предложенная модель позволяет повысить эффективность работы образовательного сервиса и обеспечить удобный доступ пользователей к учебному контенту.

Ключевые слова: искусственный интеллект, образовательные технологии, учебный контент, интеллектуальные системы, ИИ-ассистент

Введение. В условиях цифровизации образования активно развиваются интеллектуальные образовательные сервисы, использующие технологии искусственного интеллекта для поддержки учебного процесса. Такие системы позволяют автоматизировать решение учебных задач, предоставлять пояснения к решениям и формировать персонализированные рекомендации для обучающихся.

Одной из ключевых задач при разработке подобных систем является организация и управление учебным контентом. Контент должен быть структурирован, классифицирован по предметам и типам заданий, а также обеспечивать возможность генерации пошаговых объяснений решений.

Целью данной работы является разработка модели управления учебным контентом для интеллектуального сервиса решения учебных задач, обеспечивающей удобное хранение, обработку и представление образовательных материалов пользователям.

Основная часть. Интеллектуальный сервис решения учебных задач представляет собой программную систему, предназначенную для автоматизации процесса получения решений учебных задач с использованием ИИ-ассистента. Основная задача системы заключается в обработке пользовательских запросов, генерации решений и формировании пошаговых объяснений.

Структурная модель взаимодействия основных компонентов интеллектуального сервиса представлена на рисунке 1.

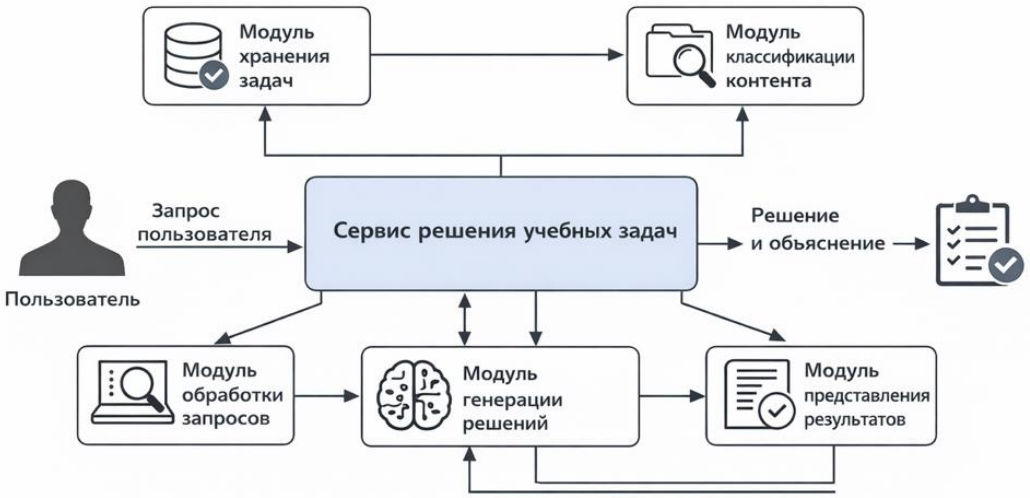


Рисунок 1 – Модель управления учебным контентом в интеллектуальном сервисе решения учебных задач

Работа системы начинается с формирования пользователем запроса, содержащего текст учебной задачи. Запрос поступает в модуль обработки запросов, где осуществляется предварительный анализ входных данных, определение типа задания и подготовка данных для дальнейшей обработки.

Далее информация передается в модуль генерации решений, в котором используется модель искусственного интеллекта для формирования ответа. На данном этапе система формирует решение задачи и сопровождает его пошаговым объяснением, что позволяет пользователю понять последовательность выполнения действий.

Для обеспечения работы интеллектуального сервиса используется модуль хранения задач, предназначенный для хранения учебных заданий различных предметных областей. Каждая задача содержит текст задания, категорию, уровень сложности и возможные варианты решения.

Классификация и структурирование учебного контента осуществляется модулем классификации контента. В данном модуле задачи распределяются по предметам, типам заданий и уровню сложности, что обеспечивает удобство поиска и обработки информации.

После формирования решения результат передается в модуль представления результатов, который отвечает за отображение ответа пользователю. В данном модуле формируется структурированный вывод, включающий итоговый результат, пошаговое решение и пояснения к каждому этапу выполнения задачи.

Таким образом, предложенная архитектура интеллектуального сервиса обеспечивает эффективное взаимодействие между пользователем и функциональными модулями системы, а также позволяет организовать структурированное управление учебным контентом.

Заключение. В работе рассмотрена модель управления учебным контентом в интеллектуальном сервисе решения учебных задач. Предложенный подход позволяет организовать эффективную структуру хранения и обработки образовательных материалов, а

также обеспечить генерацию пошаговых объяснений решений с использованием технологий искусственного интеллекта.

Разработанная модель может быть использована при создании образовательных платформ, предназначенных для поддержки учебного процесса и автоматизации решения задач школьного и университетского уровня**.**

Список литературы

1. Russell, S. Artificial Intelligence: A Modern Approach / Stuart Russell, Peter Norvig. – 4th ed. – Pearson Education, 2021. – 1136 p.

2. Systems of artificial intelligence in education: testing and validation methods / A. Ivanov, D. Petrov, M. Sidorov // International Journal of Educational Technologies. – 2022. – Vol. 5, № 2. – Pp. 45–52.

3. ГОСТ Р 57197-2016. Системы искусственного интеллекта. Термины и определения. – М. : Стандартинформ, 2016. – 20 с.

4. Methods for evaluating the efficiency of intelligent systems / V. Smirnov, A. Kuznetsov // Journal of Artificial Intelligence Research. – 2021. – Vol. 12, № 3. – Pp. 67–75.

UDC 004.89:37.016

MANAGEMENT MODEL OF EDUCATIONAL CONTENT IN AN INTELLIGENT SERVICE FOR SOLVING LEARNING TASKS

Namdag T.Ts.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Kosareva E.M. –master of tech. sciences, assistant of the department of ICSD

Annotation. The article considers a model for managing educational content in an intelligent educational service designed to automate the process of solving learning tasks of school and university levels. The proposed approach is based on the use of artificial intelligence technologies to generate step-by-step explanations of solutions and to structure educational materials. The main components of the content management system are described, including storage of tasks, their classification, processing of user requests and generation of explanations. The proposed model allows improving the efficiency of educational services and providing convenient access to structured learning content for users.

Keywords: artificial intelligence, educational technologies, educational content, intelligent systems, AI assistant.

УДК 004.4'23

РАЗРАБОТКА ИНТЕГРИРОВАННОГО ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ РУЧНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ

Войнилович Н.Ю., Галяк И.П., Ефименко Д.Д.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Коваленко И.В. – ст. преподаватель кафедры ПИКС

Аннотация. В работе рассматривается проблема низкой эффективности ручного тестирования веб-приложений, связанная с выполнением повторяющихся операций. Предлагается решение в виде комплексного программного средства (ПС) – браузерного расширения, которое интегрирует инструменты для генерации тестовых данных, аудита безопасности, перехвата сетевого трафика и автоматизированного формирования отчетов об ошибках с использованием большой языковой модели (LLM).

Ключевые слова: обеспечение качества (QA), автоматизация тестирования, безопасность веб-приложений, LLM, браузерное расширение, генерация отчетов, фаззинг, XSS, SQL-инъекция.

Введение. Современный цикл разработки программного обеспечения, основанный на методологиях Agile и DevOps, характеризуется короткими итерациями и частыми релизами. Это предъявляет повышенные требования к скорости и качеству работы отделов обеспечения качества [1]. Значительная часть времени специалистов по ручному тестированию расходуется не на поиск бизнес-логических ошибок, а на рутинные, повторяющиеся задачи. К ним относятся заполнение регистрационных форм, сбор сетевых логов, создание и оформление баг-репортов.

Актуальность данной работы обусловлена необходимостью сокращения временных затрат на вспомогательные операции в процессе ручного и исследовательского тестирования. Существующие инструменты, как правило, узкоспециализированы, что заставляет тестировщика постоянно переключать контекст, снижая общую производительность.

Целью работы является разработка программного средства, выполненного в виде браузерного расширения, для повышения эффективности ручного тестирования за счет объединения наиболее востребованных инструментов в едином пользовательском интерфейсе.

Основная часть Программное средство (далее ПС) направлено на решение ряда проблем, с которыми сталкиваются QA-инженеры.

Первой из них является трудоемкость подготовки тестового окружения. Для проверки функциональности форм тестировщику необходимо многократно вводить различные данные, что отнимает значительную часть времени. ПС решает эту проблему путем автозаполнения, анализируя DOM-атрибуты полей и сопоставляя их с внутренними словарями для заполнения форм за одну операцию.

Вторая проблема заключается в сложности сбора артефактов для отчета об ошибке. Качественный отчет об ошибке требует от инженера выполнения нескольких несвязанных действий для сбора скриншотов, URL и сетевых логов [2]. Предлагаемое ПС автоматизирует этот процесс, осуществляя фоновый перехват сетевого трафика и объединяя все необходимые артефакты в единый, готовый к отправке HTML-файл.

Третья проблема – это высокий порог входа в тестирование безопасности для функциональных тестировщиков. Проверка уязвимостей, таких как XSS или SQL-инъекции, требует специфических знаний. ПС снижает этот порог за счет интеграции с LLM [3]. Когда тестировщик описывает задачу, ПС передает нейросети не только запрос, но и полный

контекст поля ввода, что позволяет LLM сгенерировать узконаправленный и потенциально более эффективный вектор атаки.

Программное средство реализовано в виде браузерного расширения для браузеров на базе Chromium, реализующих архитектуру Manifest V3 [4]. Архитектура ПС является модульной и включает в себя несколько компонентов. Первым компонентом является Content Script, который отвечает за рендеринг пользовательского интерфейса, обработку действий пользователя и считывание атрибутов DOM-элементов. Второй компонент, Injected Script, внедряется в глобальный контекст веб-страницы для переопределения методов XMLHttpRequest и window.fetch, что позволяет перехватывать сетевые запросы и передавать их копии в Content Script. Третьим элементом является Background Service Worker, выполняющий логические операции. Особая роль данному компоненту отведена в подсистеме интеллектуальной генерации атак. Ввиду действия политики Cross-Origin Resource Sharing (CORS), блокирующей прямые запросы к сторонним API со страниц сайтов, взаимодействие с сервисом Groq реализовано через Service Worker. Он принимает от Content Script контекст целевого поля ввода, выполняет авторизованный запрос к модели llama-3.3-70b-versatile и возвращает сгенерированный вектор атаки обратно в интерфейс расширения. Взаимодействие компонентов при выполнении данного сценария представлено на диаграмме последовательности (рисунок 1).

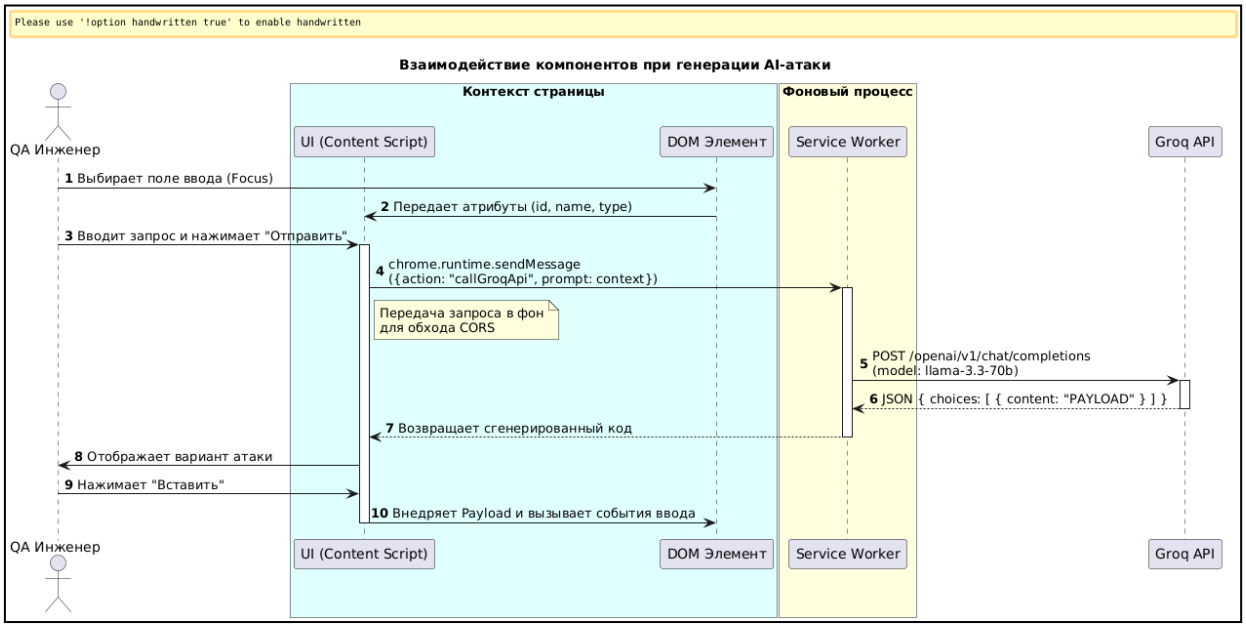


Рисунок 1 – Взаимодействие элементов при генерации атаки

Внедрение разработанного программного средства в технологический процесс обеспечения качества позволяет изменить подход к проведению исследовательского и регрессионного тестирования. Основной эффект достигается за счет минимизации времени, затрачиваемого на проведение тестов. В традиционном сценарии тестировщик вынужден оперировать набором разрозненных инструментов, переходя из браузера в текстовый редактор, консоль разработчика и графический редактор. Интеграция всех необходимых функций в единый интерфейс позволяет проводить проверки без прерывания пользовательской сессии, что, согласно предварительным оценкам, сокращает время обработки одного тестового сценария на 30-40%.

Особую практическую ценность представляет модуль интеллектуальной поддержки на базе LLM, который трансформирует расширение из простого инструмента автоматизации в систему поддержки принятия решений. Генерация векторов атак нейросетью, осведомленной о контексте конкретного DOM-элемента, повышает вероятность выявления уязвимостей типа

XSS и SQL Injection на ранних этапах жизненного цикла ПО, снижая стоимость их последующего исправления [5].

Использование модуля генерации отчетов обеспечивает стандартизацию выходных артефактов тестирования. Автоматическое прикрепление снимка экрана и таблицы сетевых логов к отчету исключает человеческий фактор, при котором разработчики часто получают неполные данные о дефекте. Это упрощает коммуникацию внутри команды разработки и ускоряет локализацию ошибок на стороне сервера, так как отчет уже содержит точные данные о статусах HTTP-ответов и теле запросов.

Заключение. В ходе выполнения работы спроектировано и реализовано программное средство в формате расширения для браузеров на базе Chromium. Созданный инструмент успешно решает задачи автоматизации рутинных операций ввода данных, перехвата сетевого трафика и документирования дефектов, подтверждая гипотезу о целесообразности объединения инструментов в единый программный комплекс.

Результаты разработки могут быть рекомендованы к внедрению в процессы ручного функционального тестирования веб-приложений для повышения производительности труда QA-инженеров. Дальнейшее развитие проекта предполагает интеграции с внешними системами управления проектами, в частности, реализацию прямой отправки сгенерированных отчетов в системы управления проектами посредством API, а также расширение базы сценариев для автоматического фаззинга без участия нейросети.

Список литературы

1. Hoffman, A. Web Application Security: Exploitation and Countermeasures for Modern Web Applications / Andrew Hoffman. – Sebastopol: O'Reilly Media, 2020. – 340 p. – ISBN 978-1-4920-5311-8.

2. Wang, J. Software Testing with Large Language Models: Survey, Landscape, and Vision / Junjie Wang, Yuchao Huang, Chunyang Chen // IEEE Transactions on Software Engineering. – 2024. – Vol. 50, N 4. – Pp. 911–936.

3. Иванов, А. И. Интеграция больших языковых моделей в процессы автоматизированного тестирования защищенности веб-приложений / А. И. Иванов, В. С. Петров, Д. А. Смирнов // Вопросы кибербезопасности. – 2023. – № 5 (57). – С. 45–58.

4. Фрисби, М. Building Browser Extensions: Create Modern Extensions for Chrome, Safari, Firefox, and Edge / Matt Frisbie. – Berkeley: Apress, 2022. – 332 p. – ISBN 978-1-4842-8724-8.

5. Large Language Models for Cyber Security: A Systematic Literature Review / Y. Fang [и др.] // ACM Computing Surveys. – 2024. – Vol. 56, N 12. – Art. 302. – Pp. 1–34.

UDC 004.4'23

DEVELOPMENT OF THE INTEGRATED SOFTWARE TOOL FOR AUTOMATION OF MANUAL TESTING PROCESSES OF WEB APPLICATIONS

Voynilovich N.Yu., Galyak I.P., Efimenko D.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Kovalenko I.V. – Senior Lecturer at the Department of Marketing

Annotation. This paper addresses the challenge of low efficiency in manual web application testing caused by the execution of repetitive operations. We propose a comprehensive software solution implemented as a browser extension that integrates tools for test data generation, security auditing, network traffic interception, and automated bug report generation leveraging Large Language Models (LLMs).

Keywords: quality assurance (QA), test automation, web application security, LLM, browser extension, report generation, fuzzing, XSS, SQL injection.

УДК 004.415.5

ВИЗУАЛЬНОЕ РЕГРЕССИОННОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ БИЗНЕС-ПРИЛОЖЕНИЙ

Трубеко В.В., Девялтовский Д.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Коваленко И.В. – магистр экономических наук, ст. преподаватель кафедры ПИКС

Аннотация. В статье рассматривается процесс автоматизации контроля целостности пользовательских интерфейсов (UI) бизнес-приложений с использованием визуального регрессионного тестирования (VRT). Описана методика интеграции инструментов Playwright, Cypress и Applitools с платформой Storybook. Проведен сравнительный анализ алгоритмов попиксельного сравнения и систем на базе искусственного интеллекта. Установлено, что использование VRT в связке со Storybook позволяет сократить время на верификацию UI-компонентов на 40 % и минимизировать риск возникновения дефектов отображения в сложных корпоративных системах.

Ключевые слова: визуальное регрессионное тестирование, Storybook, Playwright, Cypress, автоматизация тестирования, бизнес-приложения.

Введение. Современные бизнес-приложения (ERP, CRM-системы) характеризуются высокой плотностью интерфейсных элементов, сложными табличными данными и динамическим изменением состояний. Традиционное функциональное тестирование через проверку DOM-дерева (например, наличие текста в теге) не способно выявить ошибки стилизации: наложение элементов, некорректные отступы или искажение шрифтов после обновления библиотек стилей. В связи с этим актуальной задачей является внедрение методов визуального регрессионного тестирования (Visual Regression Testing, VRT), обеспечивающих идентичность эталонного и фактического графического представления системы [1].

Основная часть. Процесс базируется на сравнении эталонных (Baseline) и текущих (Actual) снимков интерфейса, часто выполняемом в изолированной среде Storybook.

Общий алгоритм VRT включает три ключевых этапа:

1 Захват эталонного снимка (Baseline) при стабильном состоянии интерфейса.

2 Выполнение изменений в коде и захват текущего снимка (Actual).

3 Сравнение изображений и генерация отчета о различиях (Diff-map).

Для оценки расхождения изображений I_1 и I_2 размера M * N в большинстве инструментов используется среднеквадратичная ошибка (MSE), представленная в формуле (1):

$$MSE= \frac{1}{M \cdot N} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} [I_1(i,j) - I_2(i,j)]^2 \quad (1)$$

Однако для бизнес-приложений критически важно учитывать не только разницу в пикселях, но и визуальную значимость изменений. В ходе исследования были проанализированы три инструмента: Playwright VRT, Cypress Image Diff и облачное решение Applitools (таблица 1).

Таблица 1 – Сравнительный анализ инструментов визуального тестирования

Параметр сравнения	***Playwright* VRT**	***Cypress* Image Diff**	***Applitools* Eyes**
Алгоритм сравнения	*Pixel*-to-pixel	*Pixel*-to-pixel	*Visual* AI
Интеграция со Storybook	Нативная	Через плагины	Через SDK
Кросс-браузерность	Высокая	Средняя	Очень высокая
Сложность поддержки	Низкая	Средняя	Минимальная
Стоимость	Бесплатно (Open Source)	Бесплатно (Open Source)	Коммерческая лицензия

При реализации на базе Playwright взаимодействие со Storybook происходит через запуск статического билда документации. Playwright подключается к инстансу и итерирует все доступные «истории» (stories) [2]. Пример тестового сценария:

```
import { test, expect } from '@playwright/test';

test('Проверка компонента DataGrid в Storybook', async ({ page }) => {
  // Переход к конкретному компоненту
  await    page.goto('http://localhost:6006/iframe.html?id=components-datagrid--
default');

  // Сравнение со снимком с допустимым порогом расхождения 20%
  await expect(page).toHaveScreenshot('datagrid-baseline.png', {
    maxDiffPixelRatio: 0.2,
    threshold: 0.1
  });
});
```

Инструмент Applitools использует нейронные сети для игнорирования «шума» рендеринга на разных ОС, что снижает число ложных срабатываний [3].

Эксперимент на CRM-системе (45 компонентов) показал, что Playwright VRT выявил 12 дефектов верстки, не замеченных unit-тестами. Автоматизация сократила время регрессионной проверки интерфейса с 4 часов до 6 минут.

Заключение. Выполнен анализ современных инструментов визуального регрессионного тестирования применительно к бизнес-приложениям. Установлено, что связка Storybook + Playwright является наиболее оптимальной по соотношению затрат и качества для средних проектов. Для крупных систем с необходимостью поддержки множества браузеров целесообразно использование Applitools. Предложенная методика позволяет гарантировать визуальную стабильность интерфейса при частых релизах, что критически важно для поддержания доверия пользователей бизнес-ориентированного ПО.

Список литературы

1. Фримен, Э. Тестирование программного обеспечения. С чего начать / Э. Фримен. – М. : Питер, 2021. – 320 с.

2. Playwright Documentation. Visual comparisons [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://playwright.dev/docs/test-snapshots. – Дата доступа: 03.03.2026.

3. Storybook Guide. Visual testing [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://storybook.js.org/docs/visual-testing/. – Дата доступа: 03.03.2026.

UDC 004.415.5

VISUAL REGRESSION TESTING OF GRAPHICAL INTERFACES OF BUSINESS APPLICATIONS

Trubeko V.V., Devyaltovsky D.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Scientific supervisor: Kovalenko I.V. – Master of Economics, Senior Lecturer at the Department of ICSD

Annotation. The article discusses the process of automating the control of the integrity of user interfaces (UI) of business applications using visual regression testing (VRT). A method for integrating Playwright, Cypress, and Applitools tools with the Storybook platform is described. A comparative analysis of pixel-by-pixel comparison algorithms and artificial intelligence-based systems has been carried out. It has been found that using VRT in conjunction with Storybook reduces the time needed to verify UI components by 40% and minimizes the risk of display defects in complex corporate systems.

Keywords: visual regression testing, Storybook, Playwright, Cypress, test automation, business applications.

УДК 004.891.2

СЕМАНТИЧЕСКИЙ ПОИСК И ПОДБОР КНИГ С ПОМОЩЬЮ ИНТЕГРИРОВАННОГО ИИ-АССИСТЕНТА

Коршов М.И.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Верхов К.А. – ассистент кафедры ПИКС

Аннотация. В статье рассматривается проблема семантического разрыва в электронных книжных каталогах, из-за которой традиционные поисковые алгоритмы не справляются с ассоциативными запросами пользователей. В качестве решения была предложена модель интеллектуального поиска, объединяющая векторное представление данных и диалогового ИИ-ассистента. Было выявлено, что такой подход позволяет системе перейти от лексического сопоставления слов к глубокому пониманию контекста, что, в свою очередь, избавляет пользователя от необходимости знать точные метаданные книги и существенно повышает релевантность рекомендаций.

Ключевые слова: семантический поиск, ИИ-ассистент, семантический разрыв, векторный поиск, электронный каталог, искусственный интеллект

Введение. При использовании электронных библиотек и книжных онлайн-каталогов пользователи часто сталкиваются с проблемой поиска литературы по неточному или ассоциативному описанию. На практике читатель далеко не всегда знает точное название книги или фамилию автора, формулируя свой запрос через детали сюжета, жанровые особенности или общую атмосферу произведения. Традиционные поисковые алгоритмы, работающие на основе прямого лексического совпадения введенных ключевых слов с атрибутами базы данных, в таких ситуациях показывают крайне низкую эффективность. Возникает семантический разрыв – ситуация, при которой информационная система не способна сопоставить смысловое намерение пользователя с жестко структурированными метаданными каталога.

В данной статье рассматривается подход к преодолению семантического разрыва путем внедрения интегрированного ИИ-ассистента в процесс подбора книг. Применение технологий искусственного интеллекта и алгоритмов семантического поиска позволяет сместить фокус с поиска по символам на поиск по смыслу. ИИ-ассистент способен анализировать неструктурированные запросы на естественном языке, извлекать из них ключевые смысловые признаки и формировать релевантную выдачу даже при полном отсутствии прямых лексических совпадений, что существенно повышает качество работы рекомендательных систем.

Основная часть. Современные информационно-поисковые системы в электронных книжных каталогах преимущественно опираются на лексический анализ (алгоритмы семейства TF-IDF, BM25). В таких системах релевантность документа оценивается по частоте совпадения ключевых слов из запроса с текстом описания или метаданными книги. Данный подход демонстрирует высокую эффективность при поиске по точно известным атрибутам (ФИО автора, ISBN, точное название). Однако при поиске по абстрактному смыслу, сюжетным тропам или эмоциональной окраске произведения классический лексический поиск оказывается полностью неработоспособным. Ввиду нулевого или нерелевантного результата пользователь вынужден покидать пределы электронного каталога и обращаться к сторонним источникам (внешним поисковым системам, тематическим форумам) для выяснения точных атрибутов искомой книги. В результате возникает проблема семантического разрыва – фундаментального несоответствия между ассоциативным мышлением пользователя и жесткой структурой индексов реляционных баз данных [1].

Для преодоления данного ограничения в современных электронных системах применяется парадигма семантического поиска. . На технологическом уровне ее реализация базируется на алгоритмах векторного поиска и использовании плотных векторных представлений текста. Текстовые описания книг и пользовательские запросы трансформируются нейросетевыми моделями в многомерные векторы, а процесс поиска сводится к вычислению метрик пространственной близости (например, косинусного расстояния) между вектором запроса и векторами документов. Это позволяет находить литературу по смысловой релевантности, даже если в текстах нет ни одного общего слова [2].

Однако внедрение исключительно векторного поиска не решает проблему комплексной обработки сложных, неструктурированных запросов. Эффективность системы многократно возрастает при интеграции в архитектуру сервиса диалогового ИИ-ассистента на базе больших языковых моделей. В рамках процесса подбора литературы ИИ-ассистент выполняет три ключевые функции [3]:

1 Интерпретация пользовательского намерения. Интерпретация включает в себя глубокий анализ запроса на естественном языке, выделение неявных сущностей (жанр, сеттинг, архетипы персонажей) и очистка ввода от информационного шума.

2 Оптимизация поискового вектора. Что означает преобразование интерпретированного запроса в структурированный формат (запрос), оптимальный для обращения к векторному индексу каталога.

3 Генерация аргументированной выдачи. В первую очередь – анализ полученной выборки релевантных книг и формирование интерактивного ответа, в котором система логически обосновывает пользователю, почему конкретное произведение соответствует его изначальным ожиданиям.

Сравнительная характеристика подходов к организации информационного поиска в книжных сервисах представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительный анализ парадигм поиска литературы

Критерий оценки	**Лексический (традиционный) поиск**	**Семантический поиск с ИИ-ассистентом**
Метод сопоставления данных	Поиск подстрок и частотный анализ совпадений терминов.	Вычисление векторной близости и контекстное понимание текста.
Обработка абстракций и синонимов	Требует постоянной поддержки и обновления словарей синонимов вручную.	Встроена в архитектуру нейросетевой модели по умолчанию.
Пользовательское взаимодействие	Однонаправленное (ввод запроса – получение статического списка).	Интерактивное (ведение диалога, уточнение контекста, аргументация выбора).

Таким образом, переход от прямого поиска по атрибутам к семантическому поиску с интегрированным ИИ-ассистентом меняет саму логику взаимодействия пользователя с электронным каталогом. Интеллектуальный агент берет на себя вычислительно сложную задачу перевода человеческих абстракций в машинные алгоритмы, выступая интеллектуальным шлюзом между неструктурированной потребностью клиента и базой данных.

Заключение. Проведенный анализ методов информационного поиска показал, что традиционные лексические алгоритмы обладают критической уязвимостью при обработке ассоциативных запросов в книжных онлайн-каталогах. Установлено, что применение технологий семантического векторного поиска в комплексе с диалоговыми ИИ-ассистентами позволяет эффективно решить проблему семантического разрыва. Данный подход обеспечивает выделение скрытого смысла из неструктурированных пользовательских формулировок и автоматизирует процесс подбора релевантной литературы.

Также определено, что внедрение ИИ-ассистента не только повышает точность поисковой выдачи, но и качественно трансформирует пользовательский опыт за счет

интерактивного взаимодействия и аргументации предлагаемых результатов. В практическом плане использование рассмотренных интеллектуальных технологий позволяет удерживать пользователя внутри экосистемы каталога, исключая необходимость обращения к сторонним поисковым ресурсам, что напрямую способствует повышению эффективности электронных систем продаж.

Список литературы

1. Маннинг, К. Введение в информационный поиск / К. Маннинг, П. Рагхаван, Х. Шютце. – Москва: Вильямс, 2011. – 528 с.
2. Шалагин, Н. Д. Обзор алгоритмов семантического поиска по текстовым документам / Н. Д. Шалагин // International Journal of Open Information Technologies. – 2024. – Т. 12, № 8. – С. 98–105.
3. Малышев, А. А. Использование метода RAG и больших языковых моделей в интеллектуальных образовательных экосистемах / А. А. Малышев, А. В. Смирнов // Информатика и образование. – 2024. – Т. 39, № 3. – С. 45–56.

UDC 004.891.2

SEMANTIC SEARCH AND BOOK SELECTION USING AN INTEGRATED AI ASSISTANT

Karshou M.I.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Verkhov K.A. – assistant of the department of ICSD

Annotation. The article addresses the problem of the semantic gap in electronic book catalogs, which prevents traditional search algorithms from effectively processing associative user queries. As a solution, an intelligent search model combining vector data representation and a conversational AI assistant is proposed. It was found that this approach enables the system to transition from lexical word matching to deep context understanding, which, in turn, relieves the user from needing exact book metadata and significantly improves search relevance.

Keywords: semantic search, AI assistant, semantic gap, vector search, electronic catalog, artificial intelligence

УДК 004.421.5

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ГЕНЕРИРОВАНИЯ СТАНДАРТНЫХ РАВНОМЕРНЫХ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ

Алексеев С.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Боровиков С.М. – к. т. н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. Представлены результаты экспериментальных исследований по определению для различных алгоритмов количества стандартных равномерных псевдослучайных чисел, входящих в совокупность (период) до начала повторения значений этих чисел. Разработан программный комплекс на языке Python, реализующий методы анализа периодов: полный перебор, алгоритм Брента и статистический анализ. Проведено тестирование восьми классических алгоритмов генерирования псевдослучайных чисел, даны рекомендации по использованию алгоритмов.

Ключевые слова: стандартные равномерные псевдослучайные числа, алгоритмы генерирования случайных чисел, период повторения чисел.

Введение. Введение. Статистическое моделирование выходных параметров и эксплуатационных свойств электронных устройств (ЭУ) основано на получении реализаций случайных параметров. При компьютерном моделировании используют генераторы псевдослучайных чисел, где критически важной является длина периода – количество чисел до начала их повторения. Для задач, требующих миллионов независимых реализаций (например, в методах Монте-Карло), недостаточная длина периода ведет к корреляциям и искажению результатов исследования свойств ЭУ. Актуальной является задача выбора оптимального алгоритма генерации с учетом требуемого объема данных, производительности и достоверности получаемых характеристик.

Целью работы является экспериментальное исследование периодов классических и современных алгоритмов генерации стандартных равномерных псевдослучайных чисел, разработка методики их тестирования и формулировка рекомендаций по выбору генератора для задач с большим числом реализаций.

Основная часть. При выполнении исследований использованы научные работы [1–4]. Для проведения исследования был разработан программный комплекс на языке Python, включающий проверку восьми классических алгоритмов различных битностей: Middle-Square (1946), LCG-8bit (1949), LCG-16bit (1969), Xorshift-16 (2003), LCG-22bit (1986), LCG-24bit (1986), Xorshift-32 (2003), Xorshift-64 (2003). Для анализа периодов использовались три следующие метода:

1 Полный перебор (для алгоритмов с периодом ≤ 65 тыс. случайных чисел).

2 Алгоритм Брента (для периодов ≤ 100 млн случайных чисел) [1].

3 Статистический анализ на выборке 1 млн чисел (для периодов > 4 млрд. случайных чисел).

Эксперименты проводились, используя компьютер с процессором Intel Core i7-12700K. Время выполнения одного теста ограничивалось 30-ю секундами. Результаты тестирования (таблица 1) показали, что для классических алгоритмов с правильно подобранными параметрами (LCG-8bit, LCG-16bit, LCG-22bit, LCG-24bit) экспериментально полученные периоды полностью соответствуют теоретическим. В то же время алгоритм Middle-Square продемонстрировал период всего в 56 значений вместо примерно теоретически возможных 10 000, что подтверждает ограниченность его использования для важных инженерных задач.

Таблица 1 – Экспериментальные результаты тестирования классических алгоритмов

Алгоритм	Количество неповторяющихся случайных чисел в периоде:		Метод определения количества случайных чисел в периоде
	теоретический подход	определено экспериментально	
1 Middle-Square	~10 000	56	Полный перебор
2 LCG-8bit	256	256	Полный перебор
3 LCG-16bit	65536	65536	Полный перебор
4 Xorshift-16	65535	65535	Полный перебор
5 LCG-22bit	4194304	4194304	Алгоритм Брента
6 LCG-24bit	16777216	16777216	Алгоритм Брента
7 Xorshift-32	$4{,}29\times10^{9}$	Статистический тест продолжительностью 30 секунд	Статистический
8 Xorshift-64	$1{,}8\times10^{19}$	Статистический тест продолжительностью 30 секунд	Статистический

Для современных алгоритмов (PCG32, Xoroshiro128+, Philox, ChaCha20 и др.) период настолько велик (10^{19}…10^{77}), что его прямой поиск методами Брента или перебора физически невозможен (расчётное время превышает возраст Вселенной!). Поэтому для их оценки применялись статистические тесты, которые подтвердили их высокое качество и пригодность для генерации очень больших объёмов данных.

По вычислительной сложности и скорости генерации современные алгоритмы можно разделить на следующие категории:

1 Сверхбыстрые алгоритмы (1…3 такта на число).

К ним относятся Xoroshiro128+ [2] и WyRand. Они основаны на битовых сдвигах и XOR, что делает их идеальными для задач с приоритетом производительности (графика, игровая логика).

2 Алгоритмы средней сложности (5…15 тактов на число).

В эту группу входят PCG32 и Philox. PCG32 комбинирует быстрый линейный конгруэнтный шаг с дополнительной битовой перестановкой, что улучшает статистические свойства [3] ценой увеличения сложности до 5–10 тактов на число. Philox использует несколько раундов умножения и XOR для обеспечения параллелизма, что требует 10…15 тактов. Эти алгоритмы предлагают оптимальный баланс между скоростью и качеством случайных чисел, подходят для научных расчётов и моделирования.

3 Сложные криптографические алгоритмы (20…60 тактов на число).

ChaCha20 и AES-CTR относятся к этой категории. Они выполняют множественные раунды преобразований (сложения, вращения, подстановки) для обеспечения криптографической стойкости, что увеличивает сложность до 20…60 тактов на число. Хотя их скорость существенно ниже, они гарантируют, что выходная последовательность практически неотличима от истинно случайной.

Рекомендации по выбору алгоритма для задач моделирования:

1 Для учебных целей и маломасштабных симуляций (до 50…100 тыс. реализаций) достаточно классических алгоритмов с периодом порядка 10^{6}…10^{7}, таких как LCG-24bit или Xorshift-32. Их период может быть проверен экспериментально за приемлемое время, а скорость генерации составляет 5…10 тактов на число.

2 Для производственных задач моделирования (от 100 тыс. до миллиардов реализаций) следует выбирать современные алгоритмы с гарантированно бóльшим периодом и проверенными статистическими свойствами:

а) PCG32, обеспечивает баланс скорости 5…10 тактов на число и высокое качество распределения, период ~$1{,}8\times10^{19}$;

б) Philox, является идеальным для параллельных вычислений, обеспечивает детерминированную генерацию на каждом ядре/узле, период ~$3{,}4\times10^{38}$.

3 Для криптографических задач или моделирования с повышенными требованиями к безопасности следует использовать специализированные алгоритмы: ChaCha20 или AES-CTR. Их сложность выше (20…60 тактов на число), но они обеспечивают криптографическую стойкость и надёжность.

4 Для задач, где скорость генерации критична, а требования к криптостойкости отсутствуют, можно использовать WyRand или Xoroshiro128+ (1…3 такта на число).

5 Период выбранного алгоритма должен минимум на порядок превышать объем требуемой выборки. Также важно учитывать разрядность: 64–128 бит подходят для встраиваемых систем, 512+ бит – для высоконадежных приложений.

Заключение. Исследование подтвердило, что для масштабного моделирования критичен выбор алгоритма с достаточным периодом и высокой вычислительной эффективностью. Классические генераторы пригодны лишь для учебных целей. Современные алгоритмы (PCG, Philox) обеспечивают необходимую длину периода и качество распределения для симуляций ЭУ, а криптографические методы гарантируют надежность в защищенных приложениях. Разработанная методика тестирования позволяет оценить пригодность генератора для конкретной задачи и избежать ошибок повторения данных.

Список литературы

1. Brent, R.P. An improved Monte Carlo factorization algorithm / R.P. Brent // BIT Numerical Mathematics. – 1980. – Vol. 20, N 2. – Pp. 176–184.

2. L'Ecuyer, P. TestU01: A C Library for Empirical Testing of Random Number Generators / P. L'Ecuyer, R. Simard // ACM Transactions on Mathematical Software. – 2007. – Vol. 33, N 4. – Article 22.

3. Vigna, S. An experimental exploration of Marsaglia's xorshift generators, scrambled / S. Vigna // ACM Transactions on Mathematical Software. – 2016. – Vol. 42, N 4. – Article 30.

4. O'Neill, M.E. PCG: A Family of Simple Fast Space-Efficient Statistically Good Algorithms for Random Number Generation / M.E. O'Neill // Technical Report, Harvey Mudd College. – 2014. – 58 p.

UDC 004.421.5

STUDY OF ALGORITHMS FOR COMPUTER GENERATION OF STANDARD PSEUDORANDOM NUMBERS WITH UNIFORM DISTRIBUTION

Alekseev S.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Borovikov S.M. – Cand. of Sci., Associate Professor, Associate Professor of the Department of ICSD

Annotation. The article presents the results of experimental studies to determine, for various algorithms, the number of standard, uniformly distributed pseudorandom numbers included in a set (period) before the values of these numbers begin to repeat. A Python software package has been developed that implements period analysis methods: exhaustive search, Brent's algorithm, and statistical analysis. Eight classical pseudorandom number generation algorithms have been tested, and recommendations for their use are provided.

Keywords: Standard uniformly distributed pseudo-random numbers, random number generation algorithms, number repetition period.

УДК 614.8.084

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ С МОДУЛЕМ ДЕТЕКЦИИ ОСТАВЛЕННЫХ ВЕЩЕЙ, КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ В МЕСТАХ МАССОВОГО ПРЕБЫВАНИЯ ЛЮДЕЙ

Стома А.Д.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Бересневич А.И. – магистр техн. наук, ст. преп кафедры ПИКС

Аннотация. В статье рассматриваются интегрированные системы видеонаблюдения с модулем детекции оставленных вещей, контроля и управления доступом, применяемые в местах массового пребывания людей. Анализируются преимущества комплексного подхода к обеспечению безопасности, включая использования интеллектуальной видеоаналитики, алгоритма обнаружения неподвижных объектов в зоне наблюдения дольше заданного времени, централизованного мониторинга и интеграции с СКУД. Рассматриваются ключевые аспекты в повышении безопасности мест массового пребывания людей, снижения влияния человеческого фактора, оптимизации работы служб безопасности.

Ключевые слова: интегрированная система безопасности, система видеонаблюдения, видеонаблюдения, система контроля и управления доступом, модуль детекции оставленных вещей

Введение. Комплексные системы безопасности объединяют различные технологии и программы для всестороннего наблюдения, анализа происшествий и контроля доступа на защищаемых территориях. Помимо стандартного видеонаблюдения, современные версии этих систем используют интеллектуальные модули для автоматического обнаружения угроз (например, забытых вещей) и управления проходом сотрудников и гостей. Такие интегрированные решения особенно важны для мест с высокими требованиями к безопасности, где находится большое количество людей и требуется быстрое реагирование на события.

Основная часть. При реализации систем безопасности крупных объектов часто используют интеграцию подсистем между собой различными способами. Интегрированная система безопасности (ИСБ) – это программно-аппаратный комплекс, состоящий из связанных друг с другом информационно и функционально подсистем безопасности разного назначения, работающих по единому алгоритму и имеющих общие каналы связи, программное обеспечение, базы данных.

Преимуществами ИСБ являются:

– более быстрая реакция на происходящее;

– точный и развернутый анализ текущих событий;

– упрощение проектирования;

– снижение затрат на оборудование, его установку, монтаж и эксплуатацию;

– экономия проводной и кабельной продукции;

– удобство в управлении подсистем.

Основными недостатками интегрированных систем является высокая стоимость внедрения и обслуживания, сложность настройки, зависимость от конкретного производителя, поэтому ИСБ необходимо монтировать из совместимых модулей, лучше всего одной фирмы.

Объединение систем в одно целое позволяет более полно контролировать безопасность, объединяя информацию, получаемую с камер видеонаблюдения с информацией из СКУД и архивными данными. Интеграция систем позволяет проводить полный анализ ситуации, оперативно выявлять нарушения и реагировать на них. Таким образом в месте с массовым

пребываниям людей создается база информационной документации, позволяющая в онлайн режиме осуществлять обмен данными между различными отделами и службами [1].

Современные программные комплексы предоставляют целый спектр инструментов для ситуационного контроля объектов различного рода. В рамках обеспечения безопасности в большинстве видеосистем, размещенных в общественных местах (банки, торговые центры, рынки, вокзалы, аэропорты, метро) большой популярностью пользуется модуль оставленных предметов [2]. Данный модуль автоматически обнаруживает предметы, которые находятся в контролируемой зоне и остаются без движения в течение заданного времени. Используется для обнаружения забытых вещей, в том числе потенциально опасных.

Главным преимуществом данного модуля является снижение нагрузки на оператора службы безопасности. Человек физически не способен непрерывно анализировать весь видеопоток, что ведет за собой потенциально опасные ситуации в местах с большим потоком людей. Модуль работает круглосуточно и при обнаружение подозрительного предмета формируется тревожное событие, что позволяет оперативно направить сотрудников на проверку и снизить риски.

В настоящее время выделяют два класса алгоритмов, позволяющих решить задачу обнаружения оставленных предметов:

– алгоритмы, основанные на поиске объектов переднего плана;

– алгоритмы, основанные на трекинге (слежении за движущимися объектами).

Главным преимуществом детектора, основанного на трекинге, является возможность обнаружения человека, оставившего предмет, однако этот метод предъявляет высокие требования к производительности системы, дает сбои при наблюдении за сценами с высокой интенсивностью движения. Метод, основанный на поиске объектов переднего плана, показывает высокую точность детектирования оставленных предметов при условии корректной установки исходного фона, это значит, что если система «увидит» чистый фон сцены хотя бы на нескольких секунд, детектор будет показывать высокие результаты обнаружения оставленных предметов. Кроме того, детектор обладает низкой ресурсоемкостью, а разработанные модификации данного метода повышают точность детектирования и снижают количество ложных срабатываний [2].

Для небольших и средних объектов применяют модули встроенные непосредственно в видеокамеру, такое техническое решение снижает нагрузку на сервер и сеть, но ограничено возможностями самой камеры. В местах с массовым пребыванием людей используют серверные модули, они обладают большей гибкостью, поддерживают большее сложные алгоритмы.

Типовые решения применения видеонаблюдения с модулем детекции оставленных вещей:

1 Комплекс «Музей/Торгово-развлекательный центр». Предназначен для контроля состояния объектов, имеющих высокую культурную или материальную ценность: картин, скульптур, витрин с ювелирными изделиями, сейфов, банкоматов и т.д. Использование интеллектуального модуля обнаружения оставленных/убранных предметов дает возможность автоматизировать наблюдение за объектами, для которых строго определено место хранения, оперативно реагировать на изменение местоположения охраняемых предметов и предотвращать кражи и избежать финансовых потерь.

2 Комплекс «Вокзал/Аэропорт/Метро». Позволяет службам безопасности крупных транспортно-логистических узлов повысить уровень эффективности предотвращения террористических актов. Применение детектора оставленных предметов Satvision Smart Systems даёт возможность не только обнаружить подозрительный предмет и оповестить органы правопорядка, но и быстро выделить фрагмент видеозаписи, позволяющий выявить человека или группу лиц, оставивших предмет, а также найти владельцев потерянных вещей.

3 Комплекс «Безопасный город». Дает возможность правоохранительным органам использовать ситуационную видеоаналитику для выявления потенциально опасных ситуаций в местах массового скопления людей (на площадях и улицах города, в парках и на стадионах

и т.п.) и оперативно принимать контртеррористические меры для охраны правопорядка и обеспечения безопасности жизни граждан [3].

В условиях мест с массовым скоплением людей, в особенности мест с пребыванием детей, наличие такого модуля особенно актуально ввиду высокой плотности посетителей и повышенных требований к обеспечению безопасности.

Заключение. Для повышения безопасности в местах с массовым пребыванием людей оптимальным решением являются интегрированные систем видеонаблюдения и контроля и управления доступом. Эти системы, несмотря на высокую стоимость и сложность внедрения, значительно усиливают защиту, снижают влияние человеческого фактора, позволяют контролировать сотрудников, оптимизируют операционные расходы за счет комплексного управления безопасностью.

Список литературы

1. Кулинченко, В.Н. ТЕХНОЛОГИИ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ И ВИДЕОАНАЛИТИКИ / В.Н. Кулинченко, А.В. Воруев, А.И. Кучеров. – Гомель : Факультет физики и информационных технологий, 2023. – 62 с.

2. macroscop.com [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://macroscop.com/o-kompanii/blog/obnaruzhenie-ostavlennyh-predmetov. – Дата доступа: 06.03.2026.

3. satvision-cctv.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://satvision-cctv.ru/upload/iblock/c58/ymjg8gdjd8iqobdpo5e6ugr870nf07e6/4.-SISTEMA-OBNARUZHENIYA-OSTAVLENNYKH-PREDMETOV.pdf. – Дата доступа: 06.03.2026.

UDC 614.8.084

THE USE OF INTEGRATED VIDEO SURVEILLANCE SYSTEMS WITH A MODULE FOR DETECTING ABANDONED ITEMS, MONITORING AND ACCESS CONTROL IN PLACES OF MASS PRESENCE OF PEOPLE

Stoma A.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Beresnevich A.I.. – Master ofTech. Sci., Senior Lecturer at the Department of PICS

Annotation. The article discusses integrated video surveillance systems with a module for detecting abandoned items, monitoring and access control, used in places of mass presence of people. The advantages of an integrated approach to security are analysed, including the use of intelligent video analytics, an algorithm for detecting stationary objects in the surveillance area for longer than a set time, centralized monitoring and integration with ACS. The key aspects in improving the security of places of mass stay of people, reducing the influence of the human factor, and optimizing the work of security services are considered.

Keywords: integrated security system, video surveillance system, video surveillance, access control and management system, abandoned items detection module

УДК 004.415.53

ОБЗОР И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕСТИРОВАНИЯ UX ДЛЯ БИЗНЕС-ПРИЛОЖЕНИЙ

Гугалев А.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Косарева Е.М. – ассистент кафедры ПИКС

Аннотация. В статье проводится сравнительный анализ трёх методов автоматизации контроля пользовательского опыта (UX) в корпоративных информационных системах: инструментального аудита доступности, визуального регрессионного тестирования и мониторинга воспринимаемой производительности. Для каждого метода определены измеримые критерии оценки – автоматизируемость, стабильность тестов и влияние выявляемых дефектов на работу конечного пользователя. На основе анализа данных отраслевых стандартов W3C и документации ведущих инструментов автоматизации обоснована рациональная стратегия обеспечения качества UX для бизнес-ориентированных программных продуктов.

Ключевые слова: автоматизация UX, бизнес-приложения, UI-тестирование, визуальное тестирование, WCAG, Lighthouse, пользовательский опыт

Введение. В сегменте корпоративного программного обеспечения (ERP, CRM, банковские системы) качество пользовательского интерфейса напрямую влияет на операционную эффективность организации. Сложные многошаговые формы и перегруженные данными экраны повышают когнитивную нагрузку на персонал и увеличивают вероятность ошибок ввода [1]. В условиях непрерывной поставки программного обеспечения (CI/CD) традиционные методы ручного UX-тестирования становятся узким местом: их трудоёмкость несовместима с темпом коротких итераций [2].

Ключевая проблема автоматизации UX-контроля состоит в операционализации субъективного понятия «удобство» через измеримые технические метрики, допускающие верификацию программными средствами без участия человека на этапе регрессионного тестирования [3]. Целью настоящей работы является систематизация и сравнительная оценка трёх доминирующих методов автоматизации UX-контроля по критериям, значимым для бизнес-ориентированных систем

Основная часть. Переход к автоматизированному контролю UX основан на инженерном подходе к юзабилити, согласно которому интерфейс должен соответствовать измеримым нормативным требованиям по доступности, визуальной целостности и отзывчивости [4].

В современной практике выделяются три самостоятельных метода автоматизации UX-контроля:

1 Инструментальный аудит доступности (Accessibility-as-Code). Метод основан на программной проверке соответствия интерфейса стандарту WCAG 2.1: инструменты типа Axe-core встраиваются в конвейер сборки и автоматически проверяют контрастность, семантическую разметку и структуру DOM. По данным исследования Deque Systems, охватившего более 13 000 страниц реальных приложений, такие средства выявляют в среднем 57% проблем доступности без участия человека [5]; оставшиеся ~43% (сложные сценарии клавиатурной навигации, контекстные ошибки восприятия) требуют ручной экспертизы.

2 Визуальное регрессионное тестирование (Visual Regression Testing). Инструменты попиксельного сравнения (Percy, Applitools Eyes) фиксируют эталонные снимки интерфейса и при каждом прогоне обнаруживают отклонения: смещения элементов, изменения шрифтов, нарушения вёрстки [6]. Метод незаменим при масштабных обновлениях библиотек UI-компонентов, однако незначительные визуальные изменения, не влияющие на работу

пользователя, способны вызвать ложноположительные срабатывания, устранение которых требует регулярного обновления базовых снимков и повышает стоимость поддержки в Agile-среде [7].

3 Мониторинг метрик воспринимаемой производительности (Perceived Performance Metrics). Поскольку скорость реакции системы напрямую определяет продуктивность персонала, UX неотделим от производительности интерфейса. Google Lighthouse измеряет метрики LCP, TBT и CLS – три из пяти ключевых показателей актуальной методологии Lighthouse 10 [8] – и позволяет своевременно обнаруживать снижение отзывчивости интерфейса по мере усложнения бизнес-логики. Ограничение метода – чувствительность результатов к нагрузке на тестовое окружение, что требует стабилизации инфраструктуры для получения воспроизводимых значений.

Для сравнительного анализа выбраны три критерия, обусловленные спецификой корпоративной эксплуатации: автоматизируемость (доля дефектов, обнаруживаемых без участия человека), стабильность тестов (частота ложноположительных срабатываний и стоимость поддержки при частых релизах) и влияние на UX (критичность дефектов для выполнения бизнес-операций: «критическое» – полная блокировка работы пользователя, «высокое» – существенное затруднение навигации, «среднее» – замедление без блокировки).

По автоматизируемости аудит доступности и мониторинг производительности оцениваются как «высокие»: Axe-core выявляет 57% дефектов автоматически [5], Lighthouse полностью автоматизирует сбор LCP, TBT, CLS [8]; визуальный регрессионный метод – «средний», так как требует ручной разметки эталонов [6]. По стабильности лидирует аудит доступности – проверки детерминированы и опираются на формальные правила WCAG; мониторинг производительности занимает среднюю позицию из-за чувствительности к нагрузке окружения; визуальное тестирование наименее стабильно [7]. По влиянию на UX нарушения доступности критичны – они способны полностью исключить категорию пользователей из работы с системой [3]; визуальные дефекты существенно затрудняют навигацию, но редко блокируют задачу; снижение производительности замедляет бизнес-процессы и повышает вероятность ошибок оператора [1].

Сводные результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительный анализ методов автоматизации UX

Метод	**Основная проверяемая метрика**	**Автоматизируемость**	**Стабильность тестов**	**Влияние на UX**
Accessibility Audit	*WCAG 2.1 compliance score*	Высокая [5]	Высокая	Критическое
Visual Regression	*Visual Consistency Score*	Средняя	Низкая [7]	Высокое
Performance Audit	*LCP, TBT, CLS (Lighthouse 10)*	Высокая [8]	Средняя	Среднее

Анализ данных таблицы 1 показывает, что аудит доступности обеспечивает наилучшее сочетание высокой автоматизируемости и стабильности при максимальной критичности выявляемых дефектов для конечного пользователя, что делает его приоритетным методом для обязательного включения в CI/CD-конвейер. Мониторинг производительности сопоставим по уровню автоматизации, но меньшая стабильность результатов и менее критичный характер дефектов определяют его роль как дополнительного слоя контроля, целесообразного при усложнении бизнес-логики приложения. Визуальный регрессионный анализ оправдан при масштабных обновлениях дизайн-системы или библиотек UI-компонентов, но высокие затраты на поддержку эталонной базы ограничивают его применение в качестве рутинного инструмента в условиях коротких итераций. В совокупности два высокоавтоматизируемых метода – аудит доступности и мониторинг производительности – способны выявить значительную долю UX-дефектов ещё до начала ручного тестирования [2], позволяя

специалистам по качеству сосредоточиться на проверке сложных пользовательских сценариев, не поддающихся формализации.

Заключение. В результате проведённого исследования установлено, что автоматизация UX-тестирования позволяет перевести субъективные оценки удобства интерфейса в область измеримых технических показателей. Из трёх рассмотренных методов инструментальный аудит доступности демонстрирует наилучшее соотношение автоматизируемости, стабильности и критичности обнаруживаемых дефектов, что обосновывает его включение в CI/CD-конвейер в качестве обязательного шага. Мониторинг метрик воспринимаемой производительности целесообразно применять как дополнительный слой контроля. Визуальное регрессионное тестирование рекомендуется использовать точечно – при обновлениях дизайн-системы. Комбинирование первого и третьего методов обеспечивает гарантированный базовый уровень качества интерфейса, минимизирует риски критических ошибок взаимодействия и позволяет специалистам по тестированию сосредоточиться на верификации сложных пользовательских сценариев, не поддающихся формализации.

Список литературы

1. Crispin, L. Agile Testing: A Practical Guide for Testers and Agile Teams / L. Crispin, J. Gregory. – Boston : Addison-Wesley, 2009. – 536 p. – ISBN 978-0-321-53446-0.

2. Humble, J. Continuous Delivery: Reliable Software Releases through Build, Test, and Deployment Automation / J. Humble, D. Farley. – Boston : Addison-Wesley, 2010. – 512 p. – ISBN 978-0-321-60191-3.

3. W3C. Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1 / World Wide Web Consortium // W3C Recommendation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.w3.org/TR/WCAG21/ (дата обращения: 03.03.2026).

4. Nielsen, J. Usability Engineering / J. Nielsen. – Boston : Academic Press, 1993. – 362 p. – ISBN 978-0-12-518406-9.

5. Deque Systems. Automated Accessibility Coverage Report: How Much Can Automation Catch? / Deque Systems // Deque Research [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.deque.com/automated-accessibility-coverage-report/ (дата обращения: 03.03.2026).

6. Applitools. The State of Visual AI Report 2023 / Applitools // Applitools Research [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://applitools.com/state-of-visual-ai-report/ (дата обращения: 03.03.2026).

7. Meszaros, G. xUnit Test Patterns: Refactoring Test Code / G. Meszaros. – Boston : Addison-Wesley, 2007. – 883 p. – ISBN 978-0-321-20790-9.

8. Google Chrome Developers. Lighthouse Performance Scoring / Google // Chrome Developers Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://developer.chrome.com/docs/lighthouse/performance/performance-scoring (дата обращения: 03.03.2026).

9. Martin, R. C. Clean Architecture: A Craftsman's Guide to Software Structure and Design / R. C. Martin. – Boston : Prentice Hall, 2017. – 432 p. – ISBN 978-0-13-449416-6.

UDC 004.415.53

REVIEW AND COMPARATIVE ANALYSIS OF UX TEST AUTOMATION METHODS FOR BUSINESS APPLICATIONS

Gugalev A.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Scientific advisor: Kosareva E.M. – Assistant Lecturer of the Department of ICSD

Annotation. The article presents a comparative analysis of three methods for automating user experience (UX) quality control in corporate information systems: automated accessibility auditing, visual regression testing, and perceived performance monitoring. Each method is evaluated against three criteria – degree of automation, test stability, and the criticality of detected defects to end-user operations. Based on an analysis of W3C industry standards and leading automation tool documentation, a rational quality assurance strategy for business-oriented software products is substantiated.

Keywords: UX automation, business applications, UI testing, visual testing, WCAG, Lighthouse, user experience.

УДК 004.9:658.7

АВТОМАТИЗАЦИЯ СКЛАДСКОЙ ЛОГИСТИКИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ RPA

Карлюк П.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Верхов К.А. – ассистент кафедры ПИКС

Аннотация. Проведен сравнительный анализ эффективности традиционных методов управления складской логистикой и технологии роботизированной автоматизации процессов (RPA). Установлено, что использование программных роботов для заполнения форм документов позволяет минимизировать ошибки и сократить временные затраты. Обоснована методика интеграции RPA-решений в существующую инфраструктуру склада.

Ключевые слова: складская логистика, автоматизация, процесс, RPA

Введение. Широкое распространение цифровых технологий и стремительный рост объемов товарооборота в современных цепях поставок выдвигают задачу повышения эффективности управления процессами организации на одно из первых мест. В условиях глобализации и усложнения логистических цепочек традиционные методы обработки информации часто становятся серьезным препятствием для динамичного развития бизнеса. Управление операциями на складе в классическом виде неразрывно связано с огромным объемом ручного труда и бумажным документооборотом. Это неизбежно приводит к увеличению временных затрат, возникновению критических ошибок при вводе данных и общему снижению производительности труда персонала [1].

В данной статье показано, что применение технологии роботизированной автоматизации процессов позволяет существенно повысить точность и скорость выполнения рутинных операций в складской логистике. Использование программных роботов обеспечивает автоматическое выполнение задач обработки данных, интеграцию внешних информационных систем и снижение влияния человеческого фактора, что способствует повышению эффективности управлениями ресурсами склада.

Основная часть. Процесс складской логистики представляет собой сложную многоуровневую систему, которая включает в себя несколько ключевых этапов:

1 Планирование поступления товарно-материальных ценностей (ТМЦ). Данный процесс, с точки зрения склада, включает в себя получение сроков поставок от подразделений организации. На основании данной информации осуществляется планирование загрузки складских площадей, подготовка зон приемки и распределение персонала.

2 Приемка ТМЦ на складах. В свою очередь, процесс приемки заключается в проверке ТМЦ по количеству и/или качеству на основании товарно-транспортной накладной (ТТН-1) или других сопроводительных документов в целях подтверждения выполнения обязательств продавцом (поставщиком). В случае обнаружения в ходе приемки недостачи товара, несоответствия документов и фактического положения лицо, осуществляющее приемку, должно приостановить процесс, принять меры по обеспечению сохранности товара, вызвать представителя и оформить факт выявленной недостачи актом о расхождении. Если приемка прошла успешно, то ТМЦ перемещается в зону размещения и поступает на учет склада [2].

3 Размещение ТМЦ. Процесс размещения инициируется поступлением ТМЦ в зону размещения. Суть процесса заключается в размещении товара по местам хранения, а также отражение его движения в книге складского учета или карточке складского учета.

4 Хранение ТМЦ. Данный процесс представляет собой деятельность по обеспечению количественной и качественной сохранности ТМЦ в течение всего периода их нахождения на

складе. В ходе хранения могут проводиться как плановые, так и внеплановые инвентаризации, а также контроль сроков годности и технического состояния упаковки.

5 Подготовка к отгрузке ТМЦ. Процесс подготовки начинается с получения заявок/заказов. Он включает в себя отбор ТМЦ из мест хранения в соответствии с перечнем, проверку целостности, его упаковку и маркировку. На данном этапе также подготавливается пакет необходимых документов (ТТН, ТН, CMR).

6 Отгрузка ТМЦ. Данный процесс является завершающей стадией складского цикла и заключается в физической передаче ТМЦ со склада представителю транспортной компании или покупателю. Отгрузка производиться только при наличии надлежащим образом оформленной доверенности и подписания сопроводительных документов. Моментом окончания отгрузки считается переход материальной ответственности.

Подавляющее большинство операций выполняется вручную или с использованием простейших электронных таблиц, что обуславливает высокую зависимость от человеческого фактора. Операции создания документов базируются на унифицированных формах документации, согласно законодательству Республики Беларусь.

Несмотря на четкую регламентацию, описанный традиционный подход ведения складских операций в современных условиях становится узким местом организации. Высокая доля ручного труда при заполнении унифицированных форм, риск потери данных при переносе информации создают барьеры для масштабирования бизнеса. В условиях дефицита времени и роста требований к точности, склады нуждаются в комплексной автоматизации, включающей помимо автоматизации процессов их частичную роботизированную автоматизацию, которая позволит делегировать рутинные задачи программным роботам, оставляя за сотрудниками право принятия решений.

Далее в таблице 1 представлены качественные изменения в управлении складом при автоматизации складской логистики на основе технологии RPA.

Таблица 1 – Качественные изменения в управлении складом

Процесс	**Автоматизация**	**Роботизированная автоматизация**
Планирование поступления ТМЦ	Внесение данных в систему о предстоящих отгрузках через API.	Использование робота для получения данных из системы, не имеющей публичного API.
Приемка ТМЦ на складах	Внесение данных о ТМЦ в централизированную систему для учета на складе.	Заполнение унифицированных форм документов на основании данных из системы.
Размещение ТМЦ	Система автоматически распределяет ТМЦ по складу, учитывая условия хранения и габариты.	Заполнение карточек складского учета.
Хранение ТМЦ	Проведение инвентаризации заключается в необходимости внесения фактических данных со склада. Мониторинг остатков.	Заполнение форм инвентаризационной описи на основании данных из системы.
Подготовка к отгрузке ТМЦ	Выбор ТМЦ учитывая метод FIFO и сроки годности.	Заполнение унифицированных форм документов, создание упаковочного листа на основании данных из системы.

Представленные данные подтверждают, что использование классической автоматизации в связке с RPA позволяет устранить разрывы в едином цифровом контуре склада. Программные роботы эффективно выполняют роль посредника между закрытыми корпоративными системами и прикладными программами, где прямая интеграция невозможна.

Заключение. Проведен анализ рабочих процессов склада, который подтвердил, что внедрение RPA значительно повышает эффективность складской логистики. Автоматизация таких задач, как заполнение отчетных форм и получение данных из различных систем, ускоряет обработку заявок и снижает риск ошибок, связанных с человеческим фактором. Роботизированная автоматизация не заменяет первичные системы учета, таких как warehouse

management system (WMS), а дополняет их, закрывая разрывы в тех местах, где интеграция через API невозможна или экономически нецелесообразно.

Также было установлено, что применение программных роботов позволяет не только ускорить транзакционные операции, но и освободить квалифицированный персонал для участия в более сложных бизнес-процессах. Это позволяет организации в целом и складу в частности гораздо быстрее адаптироваться к динамичным изменениям в законодательстве и требованиях современного рынка. В долгосрочной стратегической перспективе масштабирование технологии RPA способствует планомерному снижению операционных издержек за счет самооптимизации и высокой точности выполнения алгоритмов.

Список литературы

1. Рынок складской недвижимости Беларуси: нулевая вакантность и возвращение к спекулятивному строительству [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://lognews.ru/rynok-skladskoy-nedvizhimosti-belarusi-nulevaya-vakantnost-i-vozvraschenie-k-spekulyativnomu. Дата доступа: 04.03.2026.

2. ПСМ от 03.09.2008 № 1290 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://clck.ru/3SMwbN. – Дата доступа: 04.04.2026.

UDC 004.9:658.7

AUTOMATION OF WAREHOUSE LOGISTICS BASED ON RPA TECHNOLOGY

Karliuk P.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Verkhov K.A. – assistant of the department of ICSD

Annotation. A comparative analysis of the effectiveness of traditional warehouse logistics management methods and robotic process automation (RPA) technology was conducted. It was found that the use of software robots to fill out document forms minimizes errors and reduces time costs. A methodology for integrating RPA solutions into the existing warehouse infrastructure was substantiated.

Keywords: warehouse logistics, automation, process, RPA

УДК 004.4

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОГРАММНЫХ АНАЛОГОВ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ БРСМ

Куприянова К.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Шелест А.В. – магистр техники и технологии, ассистент кафедры ПИКС

Аннотация. Проведен анализ существующих решений в области автоматизации учета участников молодежных мероприятий, управления студенческими активами и документооборота в первичных организациях БРСМ вузов. Выявлены ключевые недостатки универсальных CRM/ERP-систем и платформ для мероприятий при решении специализированных задач молодежной организации. Разработаны требования к специализированному программному средству, сочетающему лучшие практики выбранных аналогов и учитывающему специфику БРСМ. Предложена комбинированная эталонная модель функциональности.

Ключевые слова: автоматизация, первичная организация БРСМ, молодежное объединение, вуз, документооборот, учет участников мероприятий, календарное планирование

Введение. Деятельность первичных организаций Белорусского республиканского союза молодежи (БРСМ) в учреждениях высшего образования характеризуется большим объемом рутинных операций: учет членов и актива, регистрация участников мероприятий, подготовка различных видов документов (ходатайства, докладные записки, освобождения от занятий), ведение календаря событий, сбор и анализ статистики посещаемости и активности.

Ручное ведение учета и документооборота приводит к значительным временным затратам секретарей БРСМ, ошибкам в данных и низкой оперативности информирования студентов. В условиях цифровизации возникает потребность в специализированном программном средстве, адаптированном под задачи первичной организации БРСМ в вузе [1].

Цель работы – провести сравнительный анализ существующих решений автоматизации аналогичных процессов и обосновать необходимость разработки специализированной системы для рабочего места секретаря первичной организации БРСМ.

Основная часть. Для определения места разрабатываемого программного средства на рынке был проведен анализ существующих решений. Программное средство автоматизации деятельности организации БРСМ ориентировано на учебные заведения. Поэтому аналоги определяются среди программных решений, применяемых в следующих областях: CRM/ERP-системы для образовательных учреждений, платформы для организации мероприятий, решения для молодежных организаций, системы документооборота и автоматизации студенческих объединений. В результате были выбраны наиболее близкие по функциональному назначению программные продукты: Booklux (Youth organization scheduling software) [2], Teamup [3], 1С:Университет ПРОФ [4] и Eventbrite [5] (таблица 1).

Таблица 1 – Описание функциональности аналогов

Аналог	**Назначение**	**Основная функциональность**
Youth organization scheduling software	Планирование деятельности организации	Календарь, управление расписанием, push-уведомления, отчеты и аналитика, экспорт данных.
Teamup	Управление событиями, ресурсами и расписаниями	Многоуровневые календари, уровни доступа, совместная работа команд, виджеты, статистика и журналы отслеживания активности пользователей.

Продолжение таблицы 1

Аналог	**Назначение**	**Основная функциональность**
1С:Университет ПРОФ	Комплексная автоматизация процессов образовательных учреждений	Расписание, управление студентами, работа с договорами и различными документами, планирование учебного процесса, личный кабинет обучающегося.
Eventbrite	Организация мероприятий и билеты	Создание событий, регистрация, статистика и аналитика.

Сравнение выбранных аналогов проводилось по критериям: управление мероприятиями, регистрация участников, поддержка документооборота, учет пользователей, календарь, уведомления, статистика, гибкие фильтры, возможность экспорта данных, поддержка уровней доступа (таблица 2).

Таблица 2 – Сравнительный анализ автоматизации ключевых функций

Функция	**Booklux**	**Teamup**	**1С:Университет ПРОФ**	**Eventbrite**
Управление мероприятиями	Да	Да	Да	Да
Регистрация участников	Да	–	–	Да
Поддержка документооборота	–	–	Да	–
Учет пользователей	Да	–	Да	–
Календарь	Да	Да	Да	Да
Уведомления	Да	Да	–	Да
Статистика	Да	Частично	Да	Да
Гибкие фильтры	–	Да	Да	Да
Экспорт данных	Да	–	Да	Да
Уровни доступа	Да	Да	Да	–

Сравнительный анализ ключевых функций показал следующее: все четыре решения поддерживают управление мероприятиями и календарное планирование. Регистрация участников полноценно реализована в Booklux и Eventbrite, тогда как в других рассматриваемых системах данная функция отсутствует или реализована ограниченно. Генерация документов отсутствует практически во всех аналогах, за исключением частичной поддержки в 1С:Университет ПРОФ. Учет студентов полноценно реализован только в 1С:Университет ПРОФ. Уведомления присутствуют в Booklux, Teamup и Eventbrite. Статистика и аналитика по мероприятиям и посещаемости доступны во всех системах, но с разной глубиной. Гибкие фильтры и выгрузка данных лучше всего реализованы в Teamup и 1С. Работа с ролями и уровнями доступа сильна в Booklux и Teamup.

Таким образом, ни одно из перечисленных решений в полной мере не закрывает потребности первичной организации БРСМ, особенно в части генерации специфических вузовских документов, интеграции с учебным процессом и ведения статистики актива БРСМ.

Деятельность первичной организации БРСМ в учреждениях высшего образования имеет ряд особенностей, которые усложняют применение универсальных программных решений. В отличие от коммерческих систем управления мероприятиями, деятельность молодежных организаций тесно связана с внутренними регламентами вуза и необходимостью подготовки официальных документов. В большинстве существующих систем подобная функциональность отсутствует, так как они ориентированы либо на коммерческие мероприятия, либо на общий документооборот предприятий.

Также важной задачей является ведение статистики активности студентов, позволяющей анализировать вовлеченность обучающихся в общественную деятельность. Подобная аналитика необходима для формирования отчетности, оценки эффективности проводимых

мероприятий и планирования дальнейшей работы организации. Однако большинство рассмотренных решений предоставляет лишь базовые инструменты статистики, не учитывающие специфику молодежных объединений в вузах.

Учитывая перечисленные особенности, можно сделать вывод о целесообразности разработки специализированного программного средства, которое будет учитывать специфику деятельности первичных организаций БРСМ.

На основании проведенного сравнительного анализа сформированы основные требования к разрабатываемому программному средству:

– наличие интерактивного календаря с визуальным отображением мероприятий;

– возможность онлайн-регистрации участников и подтверждения участия;

– автоматическая генерация документов (ходатайств, докладных записок, освобождений);

– поддержка системы ролей и уровней доступа для различных категорий пользователей;

– отправка push-уведомлений пользователям о создании мероприятий, изменениях в расписании, напоминания о ближайших мероприятиях;

– ведение статистики посещаемости и активности студентов;

– возможность выгрузки данных по выбранным фильтрам и формирования аналитических отчетов.

Заключение. Сравнительный анализ подтвердил, что универсальные платформы лишь частично удовлетворяют запросам БРСМ, не обеспечивая связь с учебным процессом и специфический документооборот. Основные ограничения аналогов связаны с отсутствием инструментов учета актива и генерации вузовских форм. Реализация специализированной системы позволит автоматизировать работу секретаря, сократить ручные операции и повысить оперативность взаимодействия со студентами.

Список литературы

1. Положение о первичной организации ОО «БРСМ» в учреждении образования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://brsm.by/. – Дата доступа: 05.03.2026.

2. Booklux. Youth organization scheduling software [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.softwaresuggest.com/booklux. – Дата доступа: 05.03.2026.

3. Театир [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://teatup-apps.com/. – Дата доступа: 05.03.2026.

4. 1С:Университет ПРОФ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://solutions.1c.ru/catalog/university-prof. – Дата доступа: 05.03.2026.

5. Eventbrite. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.eventbrite.com/help/en-us/. – Дата доступа: 05.03.2026.

UDC 004.4

COMPARATIVE ANALYSIS OF PROGRAM ANALOGUES FOR AUTOMATION OF THE BRSM ORGANIZATION ACTIVITIES

Kupryianova K.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Shelest A.V. – Master of Engineering and Technology, Cand. of Sci., assistant at the department of ICSD

Annotation. An analysis of existing solutions in the field of automation of registration of participants of youth events, management of student assets and document management in primary organizations of BRSM of universities has been carried out. Key shortcomings of universal CRM/ERP systems and platforms for events have been identified when solving specialized tasks of a youth organization. Requirements for a specialized software tool have been developed, combining the best practices of selected analogues and taking into account the specifics of BRSM. A combined reference model of functionality has been proposed.

Keywords: automation, primary organization of the BRSM, youth association, university, document management, registration of event participants, calendar planning

УДК 004.89:004.4

ВСТРОЕННЫЙ ИИ-АССИСТЕНТ В ТИКЕТ-СЕРВИСЕ: ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ОБРАЩЕНИЙ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА

Михайловская М.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Верхов К.А. – ассистент кафедры ПИКС

Аннотация. В работе рассмотрено применение встроенного ИИ-ассистента в тикет-сервисе для автоматизации обработки обращений. Показано, что использование методов обработки естественного языка сокращает время первичной обработки заявок, снижает нагрузку на первую линию поддержки и повышает качество сервиса. Определены направления развития программного средства, включая интеграцию базы знаний и защиту персональных данных.

Ключевые слова: тикет-сервис, ИИ-ассистент, техническая поддержка, обработка обращений, NLP, интеллектуальная маршрутизация, Service Desk, автоматизация

Введение. Эксплуатация цифровых продуктов сопровождается постоянным потоком инцидентов, вопросов и запросов на изменение, а увеличение числа обращений приводит к росту нагрузки на специалистов технической поддержки, задержкам обработки и ошибкам маршрутизации. В данной статье рассматриваются возможности применения встроенного ИИ-ассистента в тикет-сервисе для повышения эффективности обработки обращений, а также требования, учитываемые при проектировании такого программного средства.

Основная часть. Исследование, посвященное анализу пользовательских запросов на этапе эксплуатации и сопровождения программного продукта, показывает, что скорость и качество реакции на обращения напрямую влияют на конкурентоспособность программного продукта, а сами процессы обработки обращений относятся к существенной части жизненного цикла ПО [1]. В современной практике служб технической поддержки тикет-сервис используется как организационно-техническая основа регистрации, учета и контроля исполнения обращений пользователей. С точки зрения сервисного менеджмента тикет-сервис следует рассматривать как инструмент поддержки процессов управления услугами и инцидентами. В исследованиях по ITSM и Service Desk подчеркивается значимость централизованной регистрации обращений, отслеживания их статусов, маршрутизации задач между исполнителями и накопления данных о ходе обработки заявок [2, 3]. Поэтому современный тикет-сервис следует рассматривать как основу сервисного процесса, в которой встроенный ИИ-ассистент может выступать средством интеллектуализации первичной обработки обращений.

Необходимость такой интеллектуализации обусловлена характером самих пользовательских обращений. Значительная часть входящих заявок представлена в виде свободного текста с различной степенью детализации и неоднозначности, что затрудняет их оперативную обработку. В статье о современных способах обработки запросов в службу технической поддержки рассматривается применение технологий искусственного интеллекта для автоматизации обработки пользовательских запросов [4]. Это позволяет рассматривать встроенный ИИ-ассистент как средство интеллектуальной предобработки обращений, способное повысить оперативность и согласованность их дальнейшей обработки.

Из указанной функциональной роли ИИ-ассистента вытекает и его практическая ценность. Она проявляется в нескольких направлениях. Во-первых, ассистент обеспечивает круглосуточный первичный прием обращений через веб-интерфейс, мессенджер либо внутренний портал, что уменьшает зависимость пользователя от режима работы службы поддержки. Во-вторых, он способен автоматически выделять намерение пользователя,

определять категорию обращения, оценивать его срочность и подготавливать маршрут передачи в нужную группу поддержки. В-третьих, при наличии базы знаний система может предлагать типовой ответ либо релевантную инструкцию до подключения специалиста. В работах, посвященных автоматизации поддержки и применению чат-ботов, подобные механизмы связываются с ускорением обработки запросов, повышением доступности сервиса и снижением нагрузки на операторов.

Тикет-сервис со встроенным ИИ-ассистентом обеспечивает переход от регистрации обращений к интеллектуальной поддержке сервисного процесса. В исследованиях, посвященных организации работы службы поддержки, в качестве значимого направления выделяется контроль показателей эффективности и качества обработки обращений [5]. В связи с этим перспективное программное средство должно включать не только модуль диалога, но и аналитический контур, обеспечивающий контроль SLA, выявление повторяющихся инцидентов, оценку точности классификации, фиксацию истории эскалаций и сбор обратной связи для последующей настройки моделей обработки текста.

Такой подход закономерно подводит к вопросу о распределении функций между автоматизированной системой и специалистом поддержки. Наиболее рациональной представляется гибридная модель взаимодействия пользователя, ИИ-ассистента и специалиста поддержки. Полностью автономная обработка подходит лишь для типовых обращений, тогда как нестандартные инциденты, вопросы с правовыми последствиями и запросы, требующие доступа к чувствительным данным, должны передаваться человеку. В этом случае ИИ-ассистент берет на себя сбор первичных сведений, извлечение сущностей, поиск релевантных материалов базы знаний и формирование черновика ответа, а сотрудник подтверждает результат либо выполняет дальнейшую обработку.

Вместе с тем внедрение подобной модели требует учета не только функциональных, но и организационно-правовых ограничений. Поскольку тикет-сервис со встроенным ИИ-ассистентом связан с обработкой пользовательских обращений, при его проектировании необходимо обеспечить законность и обоснованность работы с данными. Правовые основы такой обработки закреплены в Законе Республики Беларусь № 99-З [6], а разъяснения Национального центра защиты персональных данных акцентируют внимание на принципах соразмерности цели, недопустимости избыточности, прозрачности и ограничения сроков хранения данных [7]. Одновременно с этим использование ИИ-компонента требует системного подхода к управлению рисками и распределению ответственности: соответствующие ориентиры задаются международными стандартами ISO/IEC 42001:2023 и ISO/IEC 23894:2023 [8, 9]. Следовательно, архитектура программного средства должна предусматривать разграничение прав доступа, журналирование действий, контроль качества автоматически сформированных ответов и обязательное участие человека при обработке критичных категорий заявок.

Заключение. Встроенный ИИ-ассистент следует рассматривать не как дополнительный интерфейс, а как функциональное ядро интеллектуализации тикет-сервиса. Его использование позволяет сократить время первичной обработки обращений, повысить качество маршрутизации, снизить нагрузку на первую линию поддержки и обеспечить накопление более ценных аналитических данных о сервисных процессах.

Наиболее перспективными направлениями развития программного средства являются омниканальный прием обращений, интеграция с базой знаний, автоматическая категоризация и приоритизация заявок, гибридный режим генерации ответов с подтверждением специалистом, а также внедрение контуров контроля качества и механизмов ответственного использования ИИ. Практическая эффективность такого решения достигается только при соблюдении требований сервисного менеджмента, защите персональных данных и системном управлении рисками.

Список литературы

1. *Gribkov, E. I. Neural network model for user request analysis during software operations and maintenance phase / E. I. Gribkov, Y. P. Yekhlakov. – Tomsk : Business Informatics, 2020. – 7–18 с.*

2. *Иванов, Р. В. ITSM в ITIL – структурно-образующий подход к проектированию, внедрению и управлению ИТ-системами класса Help (Service) Desk / Р. В. Иванов, А. Е. Михайленко. – Санкт-Петербург : Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, 2008. – 215–224 с.*

3. *Шинкаренко, Е. В. Служба технической поддержки ServiceDesk / Е. В. Шинкаренко, А. Е. Михайленко. – Красноярск : Управление бизнес-процессами, 2015. – 632–633 с.*

4. *Современные способы обработки запросов в службу технической поддержки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-sposoby-obrabotki-zaprosov-v-sluzhbu-tehnicheskoy-podderzhki. – Дата доступа: 06.03.2005.*

5. *Организация работы службы поддержки. Отслеживание ее показателей и эффективности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsiya-raboty-sluzhby-podderzhki-otslezhivanie-ee-pokazateley-i-effektivnosti. – Дата доступа: 06.03.2005.*

6. *О защите персональных данных: Закон Республики Беларусь от 7 мая 2021 г. № 99-З [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=H12100099. – Дата доступа: 06.03.2005.*

7. *Требования к обработке [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cpd.by/zachita-personalnyh-dannyh/operatoru/trebovaniya-k-obrabotke/. – Дата доступа: 06.03.2005.*

8. *ISO/IEC 42001:2023. Information technology – Artificial intelligence – Management system [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.iso.org/standard/42001. – Дата доступа: 06.03.2005.*

9. *ISO/IEC 23894:2023. Information technology – Artificial intelligence – Guidance on risk management [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.iso.org/standard/77304. – Дата доступа: 06.03.2005.*

UDC 004.89:004.4

INTEGRATED AI ASSISTANT IN A TICKET SERVICE: IMPROVING REQUEST PROCESSING EFFICIENCY AND DIRECTIONS FOR SOFTWARE DEVELOPMENT

Mikhailouskaya M.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Verkhov K.A. – assistant of the department of ICSD

Annotation. The article examines the use of an integrated AI assistant in a ticket service for automating request processing. It is shown that natural language processing methods reduce initial ticket handling time, decrease the workload of first-line support, and improve service quality. The main directions for software development, including knowledge base integration and personal data protection, are identified.

Keywords: ticket service, AI assistant, technical support, request processing, NLP, intelligent routing, Service Desk, automation

УДК 62.783.1

РАЗРАБОТКА ЛОКАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АКУСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА С ФУНКЦИЕЙ ДЕТЕКЦИИ КРИТИЧЕСКИХ ЗВУКОВ В ЗАДАННОМ ДИАПАЗОНЕ ДЕЦИБЕЛ И ЭКСТРЕННЫМ ОПОВЕЩЕНИЕМ НАСЕЛЕНИЯ ЧЕРЕЗ МОБИЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Мишук В.Е.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Бересневич А.И. – магистр техн. наук, ст. преподаватель кафедры ПИКС

Аннотация. В статье рассматривается идея разработки специализированной системы акустического мониторинга, предназначенной для реагирования на критические звуки в заданном диапазоне частот и децибел в условиях городской среды и местах массового пребывания людей. Анализируются принципы работы модуля обнаружения, основанного на обработке характеристик звука и сравнении с заданными диапазонами для отсеивания не подходящих во избежание ложных срабатываний. Идея интегрирования системы с протоколами экстренного оповещения, обеспечивающей мгновенную рассылку геолокационных сигналов тревоги на мобильные устройства граждан, находящихся в радиусе срабатывания системы. Рассматриваются ключевые аспекты повышения стиуационной осведомлённости, сокращения времени реагирования и минимизации рисков для граждан.

Ключевые слова: акустический мониторинг, система обнаружения звуков, интеллектуальная детекция, экстренное оповещение населения, геолокация, Cell Broadcast, безопасность мест массового пребывания.

Введение. Современные системы безопасности мест массового пребывания людей в основном осуществляются через видеокамеры (визуальный контроль). Однако критически важные события часто идентифицируются по звуку (крики, шум падения, звуки разрушений), который не всегда может быть передан видеокамерой. Традиционные методы оповещения (громкоговорители, сирены) не всегда эффективны в условиях городского шума и не позволяют адресно проинформировать только тех граждан, которым угрожает непосредственная опасность. Также они способны лишь больше разжечь панику и дезориентировать граждан. Разработка систем, которые способны автоматически отслеживать критические звуки и мгновенно оповещать людей в зоне риска через их мобильные устройства, является актуальной задачей повышения безопасности.

Основная часть. Система акустического мониторинга представляет собой программно-аппаратный комплекс, состоящий из чувствительных датчиков (микрофонов), модуля обработки сигналов и модуля оповещения. В отличие от стандартных приборов, показывающих уровень шума, задачей системы является не просто измерение уровня громкости в децибелах, а классификация источника звука. Ключевым элементом является модуль детекции, работающий в заданном диапазоне, например, от 80 дБ и выше, что позволяет игнорировать фоновый шум и фокусироваться на потенциально опасных акустических событиях [1].

1 Алгоритмы обработки и фильтрации. Для идентификации угроз рекомендуется использовать методы спектрального анализа и машинного обучения. Звуковой сигнал преобразуется в спектрограмму, после чего искусственный интеллект может сравнить его с заданными шаблонами. Важнейшей задачей является отсеивание ложных срабатываний, так как система должна отличать звук разбитого стекла, петарды криков нескольких людей от хлопка двери, грома, плача ребенка. В местах массового пребывания людей, где высока плотность случайных звуков, шумов, качество фильтрации должно быть приоритетной задачей.

2 Принцип геолокационного оповещения. После подтверждения факта критического события, превышение порога громкости и совпадение полученной спектрограммы с заданным шаблоном, система определяет координаты инцидента и включает модуль экстренного оповещения. Интеграция с сотовыми сетями позволяет использовать технологию Cell Broadcast, при которой сигнал тревоги рассылается на все мобильные устройства, подключенные к базовым станциям в заданном радиусе, например 500 метров от места срабатывания датчика [2]. Это гарантирует получение сигнала гражданами с ограниченными возможностями, а также людям, у которых отключен звук на телефоне. Это позволяет избежать паники среди населения, находящегося за пределами опасной зоны.

3 Преимущества и недостатки подхода. При оценке эффективности внедрения систем акустического мониторинга с функцией экстренного оповещения необходимо учитывать как их явные преимущества перед традиционными методами обеспечения безопасности, так и существующие ограничения, связанные с технической реализацией и инфраструктурными требованиями.

Преимуществами системы являются:

– реакция на автоматическое оповещение гораздо быстрее, чем при визуальном обнаружении через видеокамеры или при звонке очевидца.

– информирование только людей в зоне реальной опасности не допускает поднятие паники вне зоны, где была зафиксирована угроза.

– в отличие от видео, звуковые датчики работают одинаково эффективно днем и ночью, а также в условиях ограниченной обзорности и недостаточной видимости.

– автоматизация процесса первичного обнаружения позволяет снизить нагрузку на операторов служб экстренного реагирования.

К недостаткам можно отнести сложность настройки алгоритмов распознавания под конкретную акустическую среду города, высокую стоимость высокоточных датчиков и зависимость от инфраструктуры сотовых операторов для реализации рассылки. Недостатками также являются высокая стоимость высокоточных акустических датчиков и необходимость их размещения с определенной плотностью, обеспечивая точную детекцию источника звука, увеличивают бюджет внедрения системы, особенно на крупных территориях со сложной архитектурой. Зависимость от инфраструктуры сотовых операторов для реализации механизма рассылки геолоцированных оповещений накладывает ограничения на зону покрытия, требует заключения соглашений с провайдерами связи и создает риски сбоев при перегрузке сетей в момент чрезвычайной ситуации.

Однако, несмотря на перечисленные недостатки, развитие технологий обработки сигналов и повсеместное распространение мобильной связи создают предпосылки для постепенного преодоления указанных ограничений. Совершенствование методов машинного обучения позволяет повышать точность распознавания звуков, а внедрение стандартов 4G и 5G и технологии Cell Broadcast открывает новые возможности для надежного и быстрого оповещения населения.

4 Интерес представляет зарубежный опыт интеграции систем детекции угроз с мобильными протоколами оповещения. В частности, израильская национальная система оповещения «Цева Адом» (ивр. צבע אדום – «Красный цвет») демонстрирует эффективность подхода, основанного на автоматическом выявлении источника опасности с помощью радиолокационных средств и последующей рассылке сигнала тревоги населению, находящемуся в зоне потенциального поражения [3]. С 2014 года оповещения системы доступны через мобильные приложения, а в настоящее время Командование тыла Израиля использует технологию Cell Broadcast, позволяющую мгновенно рассылать геолоцированные предупреждения на все мобильные устройства в опасном радиусе даже при перегруженности сетей [4]. Адаптация данного принципа для задач акустической детекции критических уровней шума позволяет создать локальный «цифровой периметр» безопасности в местах массового пребывания людей [5].

Заключение. Разработка и внедрение систем акустического мониторинга с функцией детекции критических звуков и последующим оповещением населения через мобильные устройства является перспективным направлением повышения безопасности в местах массового пребывания людей. Система позволяют сократить время реагирования экстренных служб, предупредить граждан адресно, без лишней паники, повышая их шансы на избежание опасности. Технические сложности, связанные с фильтрацией шумов и интеграцией с телеком-операторами, не должны останавливать развитие данного направления, что позволит создать более эффективный уровень общественной безопасности.

Список литературы

1. Быков А.В, Методы и алгоритмы обнаружения и классификации акустических сигналов в системах безопасности : учеб. пособие / А.В. Быков, Н.Н. Смирнов. – Москва : МГТУ им. Баумана, 2021. – 120 с.

2. Петров, И.С. Системы оповещения населения: от сирен до Cell Broadcast / И.С. Петров – Технологии гражданской безопасности, 2023. – 51 с.

3.Цева адом / Википедия. Свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Цева_адом – Дата доступа: 06.03.2026.

4. »Тыловой вой». Как дозвониться всему Израилю на выключенные телефоны [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://m.47news.ru/articles/271258/. – Дата доступа: 06.03.2026.

5. New: Local authorities will be able to send emergency burst messages to cell phones [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ch10.co.il/en/news/952474/ – Дата доступа: 06.03.2026.

UDC 62.783.1

THE USE OF INTEGRATED VIDEO SURVEILLANCE SYSTEMS WITH A MODULE FOR DETECTING ABANDONED ITEMS, MONITORING AND ACCESS CONTROL IN PLACES OF MASS PRESENCE OF PEOPLE

Mishuk V.E.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Beresnevich A.I.. – Master ofTech. Sci., Senior Lecturer at the Department of PICS

Annotation. The article discusses the concept of developing a specialized acoustic monitoring system designed to respond to critical sounds within a specified frequency and decibel range in urban environments and places of mass gathering. The operating principles of the detection module are analyzed, which is based on processing sound characteristics and comparing them with predefined ranges to filter out irrelevant sounds in order to prevent false alarms. The idea of integrating the system with emergency notification protocols is considered, enabling instant distribution of geolocated alert signals to the mobile devices of citizens within the system's activation radius. Key aspects of improving situational awareness, reducing response time, and minimizing risks to citizens are examined.

Keywords: acoustic monitoring, sound detection system, intelligent detection, emergency public notification, geolocation, safety of mass gathering places.

УДК 004.052

МЕТОД РАСЧЕТА ОЖИДАЕМОЙ НАДЕЖНОСТИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Силенкова Д.С., Зацепина М.И.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Боровиков С.М. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. В работе рассматривается метод оценки ожидаемой надежности программного обеспечения, основанный на использовании метрик производственной среды разработки и характеристик программного продукта, а также на модели перехода от прогнозной плотности ошибок к вероятности безотказной работы в течение заданного периода времени. Приводится последовательность вычислений и демонстрируется применение метода на примере исходных данных.

Ключевые слова: надёжность программного обеспечения, интенсивность отказов, вероятность безотказной работы, методика расчёта.

Введение. Оценка надежности программного обеспечения является важной задачей анализа качества систем. При ограниченных времени и ресурсах экспериментальные методы не всегда применимы, поэтому используются расчетные подходы, позволяющие получить прогнозные показатели на основе формализованных моделей и исходных данных.

Целью данной работы является демонстрация порядка последовательного определения ожидаемой надежности программного обеспечения с использованием нормативных коэффициентов и заданных исходных данных.

Основная часть. Для демонстрации метода расчета ожидаемой надежности программного обеспечения используется следующий набор исходных данных: прогнозный объём программного обеспечения L=28 KLOC, календарное время тестирования T=400 ч, средний процент времени прогона программы r=2,5%, расчетный период эксплуатации τ=720 ч, прогнозируемое число обращений к программе η=1 $ч^{-1}$, производительность вычислительной системы $R=5\cdot10^8$ операций в секунду. Язык реализации C++, коэффициенты расширения и ветвления принимаются согласно справочным данным. Базовая плотность ошибок принята равной $F_б$=6,0 ошибок на KLOC. Коэффициенты организационного уровня и квалификации разработчиков приняты: $K_{орг}$=1,00 и $K_{кв}$=1,00.

Метрика производственной среды разработки определяется по формуле:

$$D = K_{орг} * K_{квал} = 1*1 = 1, \quad (1)$$

где Корг – коэффициент, учитывающий особенность проектной организации;

Кквал– коэффициент, учитывающий квалификацию и опыт программистов.

Коэффициент сложности программного обеспечения формируется с учетом наличия факторов, влияющих на трудоёмкость разработки и тестирования, и вычисляется по формуле:

$$K_{слож} = 1 + \sum_{i=1}^{m} k_i = 1 + k_1 + k_2 = 1 + 0{,}08 + 0{,}06 = 1{,}14, \quad (2)$$

где ki – коэффициент повышения сложности прикладной компьютерной программы за счет наличия у нее i-й характеристики.

Метрика характеристик программного продукта отражает совокупное влияние сложности, новизны и используемых средств разработки и определяется выражением:

$$S=K_{слож}*K_{нов}*K_{ср.разр}*K_{мод}=1,14*0,81*1,2*0,65=0,72 \quad (3)$$

где $K_{нов}$ – коэффициент, учитывающий степень новизны компьютерной программы;
$K_{ср.разр}$ – коэффициент средств разработки компьютерной программы;
$K_{мод}$ – коэффициент, учитывающий процент использования стандартных модулей в компьютерной программе.

Прогнозная начальная плотность ошибок характеризует ожидаемое количество скрытых дефектов в программном коде и определяется по формуле:

$$F_0=F_Б*D*S=8,5*1*0,72=6,122 \text{ ошибок/KLOC}, \quad (4)$$

где $F_Б = 8,5$ ошибок/KLOC – базовая (усредненная) плотность ошибок для АСУ;
D – метрика, учитывающая характеристику производственной среды разработки программы;
S – метрика, учитывающая характеристики разрабатываемой компьютерной программы.

Полученное значение используется в качестве исходного параметра при дальнейшем анализе эксплуатационных характеристик, поскольку наличие скрытых дефектов оказывает непосредственное влияние на вероятность возникновения отказов в процессе функционирования. На следующем этапе методики учитываются динамические характеристики выполнения программы, позволяющие связать статическую оценку дефектности с условиями эксплуатации.

Число выполняемых команд программы определяется выражением:

$$B=L*E_L*E_ц=28000*6*40=3,36*10^6 \text{ команд}, \quad (5)$$

где L – прогнозный объем будущей компьютерной программы в выполняемых строках кода, LOC;
E_L– коэффициент расширения кода программы относительно числа строк кода L, определяется используемым языком программирования, для (C++) $E_L \geq 6,0$;
$E_ц$– коэффициент увеличения числа выполняемых процессором команд за счет наличия в компьютерной программе условных переходов, ветвлений и других особенностей (ввод-вывод данных, считывание информации с внешних носителей, ожидание в очереди, обработка прерываний).

Значение Ец следует выбирать на основе экспертной оценки с учетом алгоритма выполнения компьютерной программой своих функций, экстремального характера входных данных, числа ветвлений в программе, записи и считывания данных с внешних носителей и т. п. В случае неопределенности рекомендуется выбрать значение от 20 до 50.

Пиковая скорость выполнения программы вычисляется по формуле:

$$V_{пик}=\frac{R}{B}=\frac{5*10^8}{3,36*10^6}=148,81 \text{ с}^{-1}, \quad (6)$$

где R – скорость пикового быстродействия компьютера, операций в секунду;
B – число команд программы.

Начальная интенсивность отказов программного обеспечения описывает ожидаемую частоту отказов на начальном этапе эксплуатации и определяется выражением:

$$\lambda_0=60*K_\Sigma*V_{пик}*F_0*L*10^{-6}=29,39 \text{ ч}^{-1} \quad (7)$$

Эксплуатационная интенсивность отказов программного обеспечения:

$$\lambda_{экс}=\frac{\lambda_0}{Q}=\frac{29{,}3862}{5{,}55}=5{,}29\ ч^{-1}, \quad (8)$$

где Q – коэффициент эффективности тестирования, который рассчитывается по формуле:

$$Q=\exp\left(\frac{60*10^{-6}*K_{\Sigma}*R*t_{\Sigma}}{B}\right)=\exp\left(\frac{60*10^{-6}*19{,}2*5*10^{8}*10}{3{,}36*10^{6}}\right)=5{,}55. \quad (9)$$

Коэффициент эффективности тестирования показывает снижение отказов после испытаний и учитывает влияние объема и длительности тестирования на эксплуатационные показатели. Вероятность безотказной работы программного обеспечения в течение календарного времени τ определяется по формуле:

$$P(\tau)=(P_1)^{\eta*\tau}=(\exp(-\lambda_{экс}*t_1))^{\eta*\tau}=0{,}999985887^{720}=0{,}990, \quad (10)$$

где η – прогнозное число обращений к программе в час;

P_1 – вероятность безотказной работы одного усредненного набора исходных данных.

Заключение. Рассмотрен метод последовательной оценки ожидаемой надежности программного обеспечения. Приведена последовательность расчёта основных показателей и получено численное значение вероятности безотказной работы за заданный интервал. Метод применим для прогнозной оценки эксплуатационных характеристик ПО в учебных и выпускных работах.

Список литературы

1. Боровиков С.М. Теоретические основы конструирования, технологии и надёжности. – Минск: Дизайн ПРО, 1998. – 336 с.

2. Боровиков С.М., Цырельчук И.Н., Троян Ф.Д. Расчёт показателей надёжности радиоэлектронных средств [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://libeldoc.bsuir.by/handle/123456789/25651. Дата доступа: 05.01.2026.

3. Надежность в технике. Термины и определения: ГОСТ 27.002-2015 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://meganorm.ru/Data2/1/4293754/4293754027.pdf. Дата доступа: 06.01.2026.

UDC 004.052

METHOD FOR CALCULATING EXPECTED SOFTWARE RELIABILITY

Silenkova D.S., Zatsepina M.I.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic o Belarus

Borovikov S.M. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. This paper considers a computational method for estimating the expected reliability of software. The method is based on the use of development environment metrics and software product characteristics, as well as on a model for transforming the predicted defect density into the probability of failure free operation over a specified time interval. The calculation procedure is presented and illustrated using a set of input data. The proposed approach can be applied in coursework and graduation projects.

Keywords: software reliability, failure intensity, probability of failure free operation, calculation methodology.

УДК 004.9

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА АНАЛИЗА ПОВЕДЕНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ВЕБ-САЙТА

Отгонбаатар Е.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Лихачевский Д.В. - канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. В работе рассматривается разработка программного средства анализа поведения пользователей веб-сайта. Система предназначена для автоматического сбора, обработки и визуализации данных о действиях посетителей веб-ресурса. Предлагаемое решение позволяет фиксировать посещения страниц, переходы между разделами, взаимодействие с элементами интерфейса и длительность пользовательских сессий. На основе полученных данных формируются аналитические отчеты, позволяющие владельцам веб-ресурсов оценивать эффективность структуры сайта и принимать решения по оптимизации интерфейса и контента.

Ключевые слова: веб-аналитика, анализ поведения пользователей, веб-приложение, REST API, визуализация данных.

Введение. Современный рынок электронной коммерции характеризуется высокой конкуренцией и растущими требованиями пользователей к функциональности и удобству интернет-магазинов. Согласно исследованиям, персонализированные рекомендации повышают конверсию на 15-30% и увеличивают средний чек на 10-20% [1]. Особую актуальность приобретают системы, способные анализировать поведение пользователей в реальном времени и адаптировать контент под индивидуальные предпочтения.

Целью данной работы является разработка веб-приложения интернет-магазина спортивных товаров с интегрированной системой персонализации, обеспечивающей повышение конверсии и улучшение пользовательского опыта за счет интеллектуального анализа поведения пользователей.

Основная часть. Приложение построено на основе трехуровневой клиент-серверной архитектуры и включает следующие компоненты:

– Frontend-приложение на базе React 18 с использованием TypeScript для типобезопасности и Material-UI v5 для адаптивного интерфейса.

– Backend-сервер на Spring Boot 3.2, обеспечивающий REST API и реализующий бизнес-логику.

– База данных MySQL 8.0 для хранения информации о товарах, пользователях, заказах и аналитических данных с оптимизированной структурой индексов.

– Модуль персонализации, реализующий алгоритмы машинного обучения для формирования рекомендаций на основе анализа поведения пользователей.

Взаимодействие компонентов осуществляется через RESTful API с использованием JSON. Для безопасности применяется JWT-аутентификация с временем жизни токена 24 часа.

Архитектура программного средства основана на клиент-серверной модели и включает серверную и клиентскую части. Серверная часть реализована в архитектурном стиле REST и отвечает за обработку запросов, хранение данных и предоставление аналитической информации через API. Клиентская часть предназначена для визуализации статистических данных и отображения аналитических отчетов.

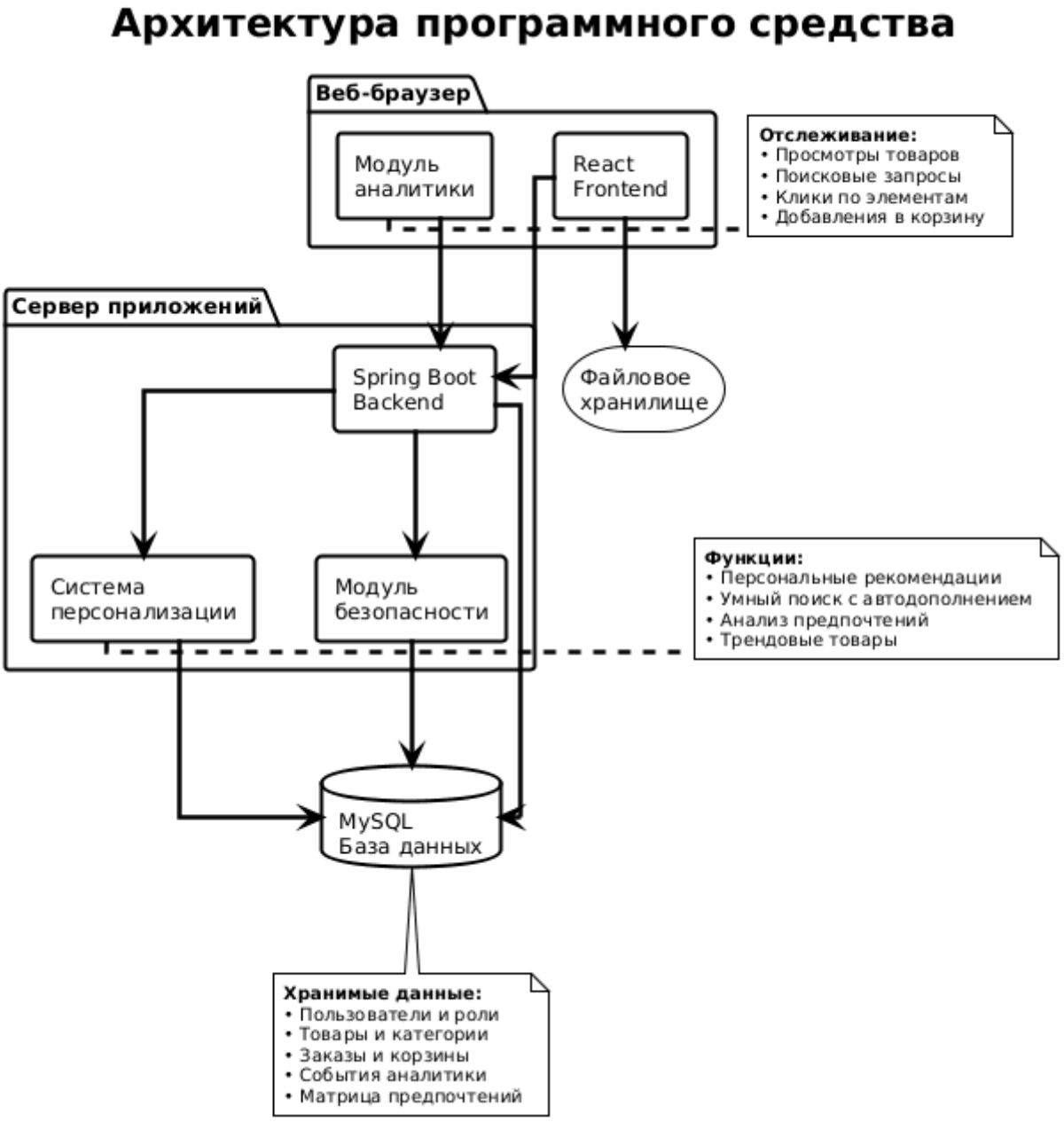


Рисунок 1 – Архитектура программного средства анализа поведения пользователей

Серверная часть системы принимает данные о действиях пользователей и сохраняет их в базе данных. Для хранения информации используется реляционная модель данных, включающая сущности пользователя, сессии, события и страницы сайта. Такая структура позволяет эффективно хранить и анализировать информацию о пользовательской активности.

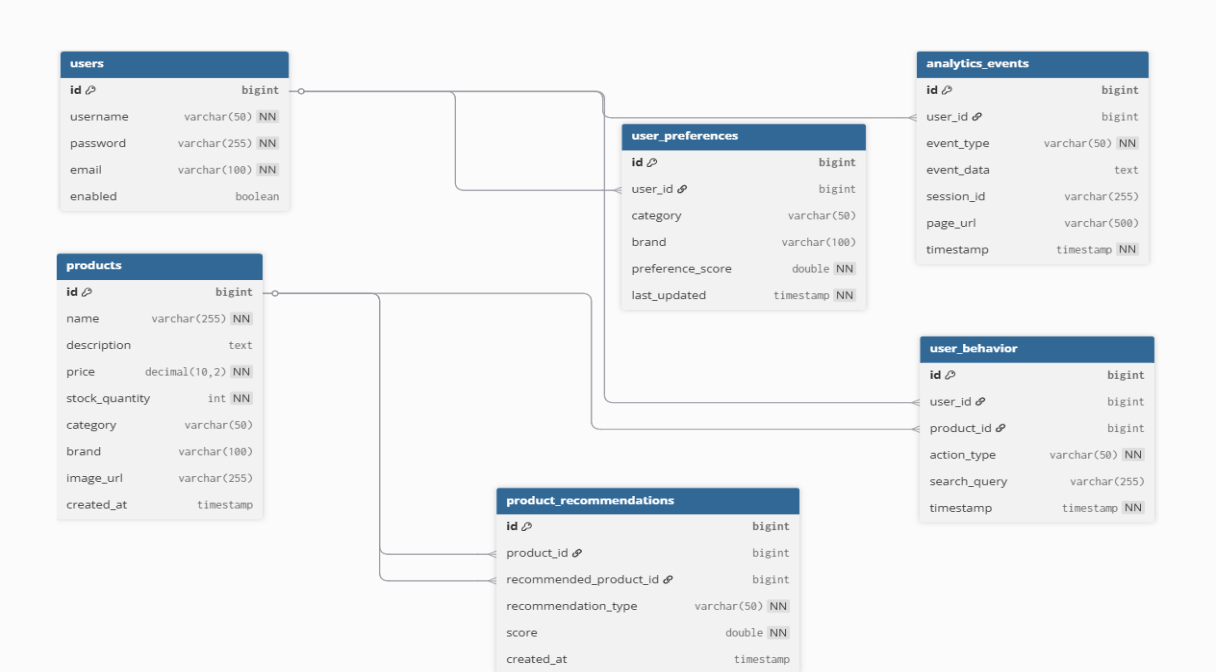


Рисунок 2 – Схема модели данных системы веб-аналитики

Заключение. Разработанное приложение объединяет функции онлайн-ритейла и предиктивной аналитики. Использование гибридной рекомендательной системы и умного поиска напрямую работает на улучшение пользовательского опыта. В перспективе планируется внедрение глубокого обучения (Deep Learning) для рекомендаций, интеграция платежных шлюзов и систем складского учета.

Список литературы

1. *Веб-технологии и интернет-программирование / Л. П. Бабенко, А. В. Ищукова. – М. : Юрайт, 2023. – 425 с.*
2. *Разработка веб-приложений на основе React и Redux / А. Н. Васильев. – СПб. : Питер, 2022. – 368 с.*
3. *Приемы объектно-ориентированного проектирования. / Дж. Влиссидес. – СПб. : Питер, 2020. – 366 с.*
4. *Spring Framework. Разработка веб-приложений на Java / В. А. Дронов. – СПб. : БХВ-Петербург, 2023. – 512 с.*
5. *MySQL и MariaDB. Базы данных для веб-приложений / Д. Н. Колисниченко. – СПб. : БХВ-Петербург, 2022. – 432 с.*
6. *React [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://mui.com/. – Дата доступа: 15.01.2026.*

UDC 004.9

DEVELOPMENT OF A SOFTWARE TOOL FOR ANALYZING USER BEHAVIOR ON A WEBSITE

Otgonbaatar E.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Likhachevsky D.V. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the department of ICSD

Annotation. The work considers the development of a software tool for analyzing the behavior of website users. The system is designed for automatic collection, processing and visualization of data on the actions of visitors to a web resource. The proposed solution allows recording page visits, transitions between sections, interaction with interface elements and the duration of user sessions. Based on the data obtained, analytical reports are generated, allowing web resource owners to evaluate the effectiveness of the site structure and make decisions on optimizing the interface and content.

Keywords: web application, online store, personalization, recommendation system, collaborative filtering, React, Spring Boot, user analytics

УДК 659.44

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ УСПЕШНОСТИ НОВЫХ ПРОДУКТОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПОТРЕБИТЕЛЬСКОГО ВЫБОРА

Папко К.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Шелест А.В. – магистр техники и технологии

Аннотация. В статье рассматривается проблема оценки потенциальной успешности продуктовых идей до их вывода на рынок. Обосновывается ограниченность концепции «объективной потребности» и предлагается использование метода сравнительного потребительского выбора как инструмента прогнозирования рыночной реакции. На основе теоретического анализа и эмпирического исследования оцениваются продуктовые идеи торговых марок, представленных на рынке Республики Беларусь. Формулируются практические рекомендации по снижению рисков внедрения новых продуктов.

Ключевые слова: продуктовая идея, потребительское поведение, инновации, сравнительный выбор, co-creation, рыночная неопределенность

Введение. В условиях высокой конкурентной среды и ускоряющейся динамики потребительских предпочтений проблема оценки потенциальной успешности новых продуктов приобретает особую значимость. По данным Национальный статистический комитет Республики Беларусь [1], предприятия Республики Беларусь осуществляют инновационную деятельность, однако уровень коммерческой результативности внедряемых новшеств остается неоднородным. Существенная доля новых продуктов не достигает устойчивого рыночного спроса, что обусловливает необходимость разработки инструментов предварительной оценки их перспективности.

Традиционно успешность продукта связывается с наличием потребности. Однако понятие потребности является сложным и контекстно-зависимым. Классическая модель иерархии потребностей А. Маслоу [2] подвергалась эмпирической критике и не подтверждается как универсальная последовательная структура. Современные исследования [3] демонстрируют, что предпочтения формируются под влиянием множества факторов: культурного контекста, маркетингового воздействия, социального окружения, когнитивных искажений и эмоциональных реакций.

С точки зрения поведенческой экономики, представленной в работах Д. Канемана [4], решения потребителей основываются не только на рациональной оценке полезности, но и на восприятии относительной привлекательности альтернатив, уровне неопределенности и ожидаемом эмоциональном эффекте. В этой связи уровень «объективной потребности» не может рассматриваться как достаточный предиктор успешности продукта.

Таким образом, возникает исследовательская задача: разработать инструмент предварительной оценки потенциальной успешности продуктовой идеи до её вывода на рынок с учетом поведенческих факторов и механизма сравнительного выбора.

Основная часть. В целях эмпирической проверки предложенного подхода было проведено исследование, направленное на оценку восприятия новых вкусовых продуктов, активно вводимых на рынок. В исследование были включены продуктовые линейки следующих производителей, представленных в Республике Беларусь:

1 ОАО «Савушкин продукт» с торговой маркой «ТОП».

2 ООО «Фрито Лей Манфактуринг» с торговой маркой «Lay's».

3 ООО «Мондэлис Русь» с торговой маркой «Alpen Gold».

Эмпирическое исследование проводилось в форме анкетирования, направленного на оценку восприятия новых вкусовых продуктов, представленных на рынке Республики

Беларусь. Сбор данных осуществлялся методом онлайн-опроса с использованием электронной анкеты [5].

В исследовании приняли участие 57 респондентов. Возраст участников варьировался от 16 до 40 лет, при этом наибольшую долю составили респонденты в возрасте 21–30 лет. Гендерная структура выборки характеризуется преобладанием мужской аудитории: около 72 % мужчин и 28 % женщин. Выборка формировалась целенаправленно и включала активных потребителей соответствующих категорий продуктов (молочная продукция, картофельные чипсы и шоколадные изделия).

В качестве объектов оценки были выбраны новые вкусовые продукты трёх производителей, представленных на рынке Республики Беларусь:

– ОАО «Савушкин продукт» (торговая марка «ТОП») − 17 продуктов;

– ООО «Фрито Лей Манфактуринг» (торговая марка «Lay's») − 22 продукта;

– ООО «Мондэлис Русь» (торговая марка «Alpen Gold») − 10 продуктов.

Таким образом, в рамках исследования было проанализировано 49 продуктовых позиций, относящихся к категории новых вкусовых решений.

На первом этапе респондентам предлагалось оценить идею продукта − насколько вероятно, что у них возникнет желание приобрести его для пробного потребления (оценка по шкале от 1 до 5). Данный показатель отражает потенциальную привлекательность концепции и степень первоначального интереса.

На втором этапе оценивалась реализация продукта − насколько вероятно повторное приобретение после фактического потребления. В случае отсутствия опыта пробного потребления респонденты данный вопрос не заполняли. Таким образом, фиксировался переход от когнитивного интереса к поведенческой готовности к повторной покупке.

Подобная дифференциация позволяет разделить два принципиально разных аспекта успешности:

1 Привлекательность идеи как маркетингового стимула.

2 Фактическую удовлетворенность продуктом.

Первичная оценка идеи демонстрирует потенциал продукта на этапе вывода на рынок, поскольку именно концепция определяет готовность потребителя совершить пробную покупку. В то же время оценка реализации отражает устойчивость спроса и способность продукта закрепиться в потребительской корзине.

В ходе анализа была рассчитана разница между средней оценкой идеи и средней оценкой реализации по формуле 1.

$$\Delta = x - y \quad (1)$$

где Δ – разница между средней оценкой идеи и средней оценкой реализации;

x – это средняя оценка привлекательности идеи продукта;

y – это средняя оценка реализации продукта.

Полученные значения предоставлены на рисунке 1.

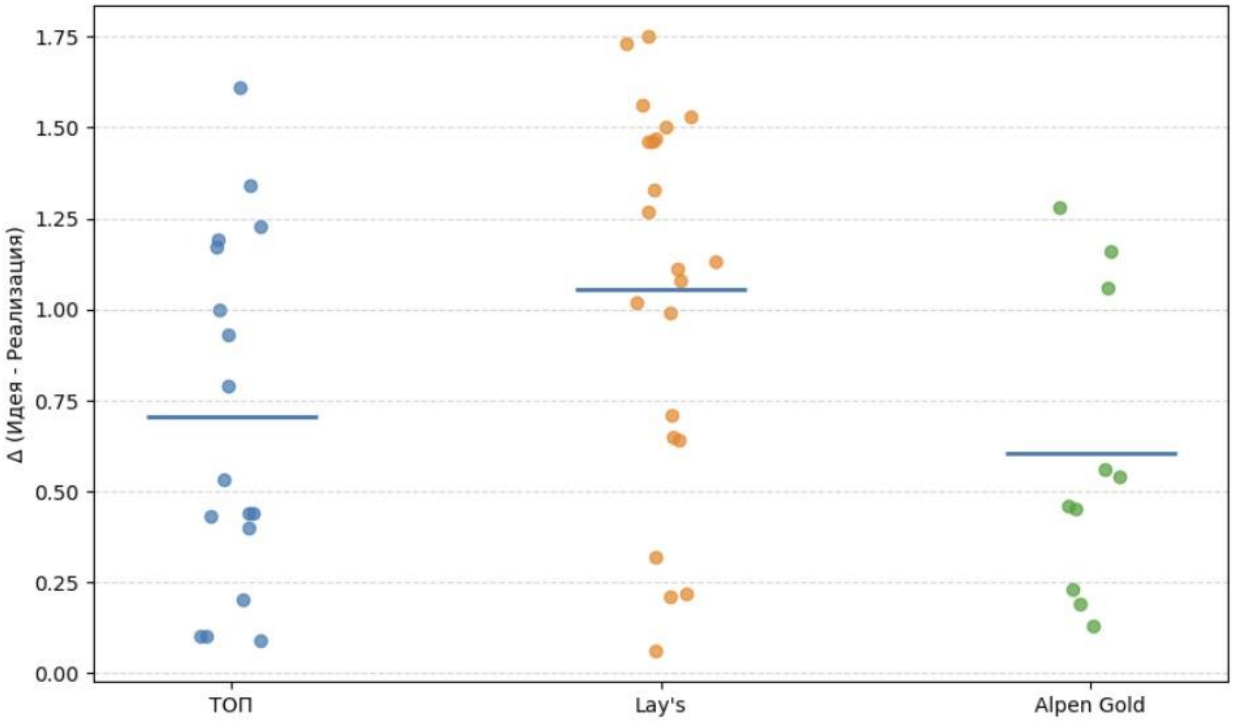


Рисунок 1 – Распределение разницы между оценкой идеи и реализации по брендам

Статистический анализ показал, что во всех рассматриваемых группах наблюдается положительное значение показателя Δ, что свидетельствует о тенденции превышения первоначальной оценки идеи над последующей оценкой реализации продукта. Иными словами, в ряде случаев ожидания, сформированные концепцией продукта, оказывались выше фактического потребительского опыта.

Среднее отклонение между оценками составило 0,84, стандартное отклонение – 0,51. Полученные значения демонстрируют умеренный уровень расхождения между ожиданием и реальным восприятием продукта.

Таким образом, результаты подтверждают гипотезу о том, что идея продукта играет ключевую роль на этапе привлечения внимания и формирования намерения пробной покупки. Концепция способна сформировать повышенные ожидания и стимулировать первичное потребление. Однако долгосрочная успешность продукта определяется степенью соответствия ожиданий фактическому качеству и вкусовым характеристикам.

Следовательно, в сегменте активных потребителей в возрасте 16-40 лет идея оказывает более выраженное влияние на решение о первичной покупке, тогда как повторное потребление зависит преимущественно от удовлетворенности продуктом.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о необходимости тестирования не только маркетинговой идеи продукта, но и его прототипа до масштабного вывода на рынок, что способствует снижению эффекта завышенных ожиданий и повышению устойчивости спроса.

Заключение. Проведенное исследование подтверждает, что концепция объективной потребности не может выступать единственным основанием прогнозирования успешности продукта. Предпочтения формируются под влиянием множества факторов, включая эмоциональные реакции, уровень неопределенности и социальный контекст.

Предложенный метод предварительной оценки, основанный на сравнительном выборе и вовлечении потребителей в процесс генерации идей [6], позволяет выявить относительную привлекательность продукта до его вывода на рынок. Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности внедрения механизмов тестирования идей на ранних стадиях разработки в практике предприятий Республики Беларусь.

Практическая значимость исследования заключается в возможности использования предложенного подхода для снижения риска неудачного запуска новых продуктов и повышения обоснованности управленческих решений.

Список литературы

1. Belstat Иновации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/nauka-i-innovatsii/innovatsii/. – Дата доступа : 30.02.2024.

2. Maslow's Hierarchy of Needs [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.simplypsychology.org/maslow.html. – Дата доступа : 03.03.2026.

3. Tay, L., & Diener, E. (2011). Needs and subjective well-being around the world. Journal of Personality and Social Psychology, 101(2), 354–365.

4. Управление рисками (Серия «Harvard Business Review: 10 лучших статей») = On Managing Risk. – М.: Альпина Паблишер, 2022. – 206 с.

5. Опрос [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLScxF5HG6JlgwtLhDz1h_G4F1uhlwtUsMF_INc5F4bCPd0TGIg/viewform?usp=dialog. – Дата доступа : 03.03.2026.

6. Прахалад, К.К. Будущее конкуренции : Создание уникальной ценности вместе с потребителями: пер. с англ. / К.К. Прахалад, В. Рамасвами. – Москва : Олимп-Бизнес, 2006. – 352 с.

UDC 659.44

ASSESSMENT OF THE POTENTIAL SUCCESS OF NEW PRODUCTS BASED ON CONSUMER CHOICE ANALYSIS

Papko K.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Shelest A.V. – Master of Engineering and Technology

Annotation. The article examines the problem of assessing the potential success of product ideas prior to their market launch. The limitations of the concept of "objective need" are substantiated, and the use of a comparative consumer choice method as a tool for forecasting market response is proposed. Based on theoretical analysis and empirical research, product ideas of brands represented in the Republic of Belarus are evaluated. Practical recommendations aimed at reducing the risks associated with the introduction of new products are formulated.

Keywords: product idea, consumer behavior, innovation, comparative choice, co-creation, market uncertainty

УДК 004.9

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ РАСЧЁТОВ СТИПЕНДИЙ СТУДЕНТАМ В УЧРЕЖДЕНИЯХ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Пташук К.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Лихачевский Д.В. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. В статье рассматривается концепция разработки программного средства для автоматизации процесса учёта расчётов со студентами-стипендиатами в учреждениях высшего образования. Программное средство разработано с целью оптимизации таких основных подпроцессов, как установление вида стипендии согласно критериям, расчёт стипендии с учетом надбавок и вычетов, предоставление расчётных листов студентам.

Ключевые слова: программное средство, стипендия, студент, учёт расчётов, учреждение высшего образования

Введение. В высших учебных заведениях одной из актуальных задач является автоматизация учёта расчётов со студентами, получающими стипендии. В ряде университетов данный процесс до сих пор реализуется с использованием бумажных документов, электронных таблиц Excel, а также отдельных программных продуктов, таких как 1С. Применение нескольких разрозненных инструментов для обработки и хранения информации создаёт ряд трудностей, например, увеличивается время обработки данных, возрастает вероятность ошибок при начислении дополнительных выплат, снижается прозрачность процесса для самих студентов, возможности анализа и контроля данных остаются ограниченными. В статье рассматривается программное средство, предназначенное для оптимизации процесса учёта расчётов со студентами-стипендиатами, с помощью которого можно будет упростить коммуникацию между студентами и университетом по вопросам начисления стипендий.

Основная часть. Автоматизация процесса учета расчетов со студентами-стипендиатами позволяет трансформировать учетную политику вуза, предоставляя следующие возможности:

1 Сокращение времени, требуемого для расчёта всех стипендий с учётом надбавок и вычетов.

2 Сокращение времени обращения студента и получения им ответа при желании получить расчётный лист.

3 Устранение бумажного документооборота, использование электронного хранения и обработки данных.

4 Анализ и сбор статистики по размерам стипендий, причинам, по которым студенты лишились стипендии.

Для достижения описанных выше возможностей разработано веб-приложение, которое включает в себя следующие ключевые компоненты:

1 Интерфейс для студента, который предоставляет возможность просмотра размера выплаты и получения расчётного листа.

2 Интерфейс для сотрудника деканата, который предоставляет функции администрирования по студентам, стипендиям, вычетам, надбавкам, а также функции просмотра аналитики.

2 Интерфейс для бухгалтера, который предоставляет функции расчёта выплат, формирования нужных документов, смены статуса выплат.

4 База данных, в которой будет храниться информация о студентах, размерах стипендий, конкретных выплатах.

Предметная область разработки веб-приложения обширная, включающая в себя несколько объёмных подпроцессов. Для формирования основной функциональности программного средства необходимо было рассмотреть существующие аналоги подпроцессов. Хотя решений, полностью специализированных на расчётах со студентами, сравнительно немного, отдельные модули по работе со стипендиями присутствуют в составе крупных ERP-систем, используемых учреждениями высшего образования [1]. Кроме того, существуют международные SaaS-платформы, автоматизирующие часть процессов, которые также можно рассматривать как конкурентов по функциональности, даже если они не ведут расчётные операции согласно локальному законодательству.

На основе функциональности существующих аналогов были описаны основные возможности нового программного средства, которые отражены с помощью диаграммы вариантов использования (рисунок 1).

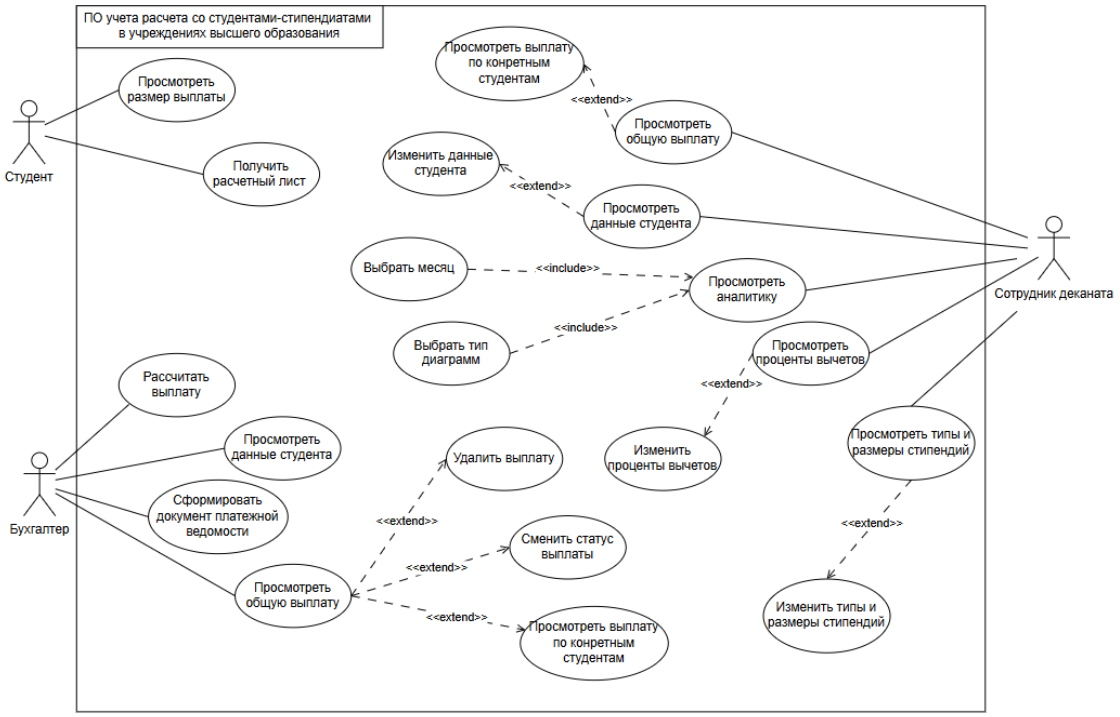


Рисунок 1 – Диаграмма вариантов использования

Данная диаграмма вариантов использования детально структурирует и отражает ключевые функциональные задачи для трех основных групп пользователей: сотрудника деканата, студента и бухгалтера. Каждая из указанных ролей наделена специфическим набором полномочий, которые коррелируют с их должностными обязанностями в рамках бизнес-процесса.

В системе реализовано строгое разграничение программных прав доступа, что гарантирует целостность и безопасность обрабатываемой финансовой информации: если для студента приоритетными являются функции мониторинга и получения отчетности, то для сотрудников администрации предусмотрены инструменты глубокого редактирования и управления базой данных. Совокупность описанных функциональных возможностей охватывает все этапы жизненного цикла начислений от первичного занесения приказа до формирования итоговых платежных ведомостей. Таким образом, представленной архитектуры функций достаточно для полноценной автоматизации и бесперебойной реализации процесса учета расчетов со студентами-стипендиатами в масштабах всего учебного заведения.

Заключение. Представленное программное средство представляет собой законченное решение для автоматизации стипендиального обеспечения в вузах. Внедрение системы позволяет минимизировать влияние человеческого фактора, обеспечить прозрачность финансовых потоков и создать удобную цифровую среду для взаимодействия студентов и административных подразделений.

Централизованный подход к хранению информации не только упрощает текущую работу бухгалтерии и деканата, но и закладывает основу для дальнейшей интеграции в общеуниверситетскую экосистему (например, через API с системами электронного обучения или банковскими сервисами). Перспективы развития проекта включают внедрение модуля прогнозирования расходов стипендиального фонда на основе методов машинного обучения, что позволит более эффективно планировать бюджет университета на долгосрочный период.

Список литературы

1. Топ 10: ERP для образования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.clouderp.ru/tags/1s_dlja_obrazovanija/ – Дата доступа: 04.03.2026.

UDC 004.9

WEB-APPLICATION FOR STUDENT SCHOLARSHIP MANAGEMENT IN HIGHER EDUCATION

Ptashuk K.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Likhachevsky D.V. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. This article discusses the concept of developing a software tool to automate the accounting of payments to scholarship recipients at higher education institutions. The software was developed to optimize key subprocesses such as determining the scholarship type according to criteria, calculating the scholarship taking into account allowances and deductions, and providing payslips to students.

Keywords: software, grants, student, accounting, higher education institution

УДК 331.101.1:004.5

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ КОГНИТИВНОЙ НАГРУЗКИ ОПЕРАТОРА В ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ СИСТЕМАХ

Рудько В.Н.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Алефиренко В.М. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. Рассмотрены основные методы оценки когнитивной нагрузки оператора при взаимодействии с человеко-машинными системами. Проведен сравнительный анализ субъективных, поведенческих и физиологических методов с точки зрения принципов их применения, преимуществ, ограничений и возможностей использования в сложных системах управления. Показано, что субъективные методы отличаются простотой применения, поведенческие позволяют оценивать влияние нагрузки на результаты деятельности оператора, а физиологические обеспечивают более объективную информацию о его состоянии и пригодны для мониторинга в реальном времени. Отмечено, что наиболее перспективным является комбинированный подход, объединяющий несколько методов оценки когнитивной нагрузки. Сделан вывод о значимости учета когнитивной нагрузки при проектировании адаптивных человеко-машинных интерфейсов и повышении надежности работы оператора в критических условиях.

Ключевые слова: когнитивная нагрузка, оператор, человеко-машинная система, методы оценки

Введение. Современные человеко-машинные интерфейсы широко применяются в различных системах управления. В таких системах оператору необходимо быстро воспринимать и обрабатывать большой объем информации, особенно в условиях ограниченного времени и высокой ответственности. В подобных ситуациях важную роль играет когнитивная нагрузка, от которой во многом зависит скорость реакции оператора, точность оценки ситуации и качество принимаемых решений [1–3].

В данной работе рассматриваются методы оценки когнитивной нагрузки оператора при взаимодействии с человеко-машинными системами. Основное внимание уделяется сравнению субъективных, поведенческих и физиологических методов, а также анализу их возможностей применения в сложных системах управления.

Основная часть. При работе с человеко-машинными интерфейсами оператору необходимо одновременно следить за несколькими параметрами системы, анализировать поступающую информацию и принимать решения. Такая деятельность требует значительных когнитивных ресурсов человека, включая внимание, память и процессы мышления. В результате возникает когнитивная нагрузка, которая может возрастать по мере усложнения задач и увеличения объема обрабатываемой информации [1–3].

На уровень когнитивной нагрузки влияет ряд факторов. К ним относятся количество отображаемых параметров, структура интерфейса, временные ограничения на принятие решений и степень автоматизации системы. Если оператору приходится одновременно контролировать большое количество данных, возрастает риск информационной перегрузки, что может привести к снижению эффективности работы и увеличению вероятности ошибок [1–3].

Для оценки когнитивной нагрузки используются различные методы. В большинстве исследований выделяют три основные группы методов: субъективные, поведенческие и физиологические. Они отличаются источниками информации и способом получения данных о состоянии оператора [2, 3].

Кроме того, уровень когнитивной нагрузки может меняться в зависимости от условий работы оператора. В ситуациях, когда требуется быстро принимать решения или работать в условиях повышенной ответственности, нагрузка значительно возрастает. Это может

приводить к снижению точности выполнения задач и увеличению количества ошибок. Поэтому анализ когнитивной нагрузки рассматривается как важный элемент исследования надежности человеко-машинных систем [2, 3].

Субъективные методы оценки когнитивной нагрузки основаны на самооценке оператора. Они позволяют определить, насколько сложной оператор считает выполняемую задачу и насколько сильным является умственное напряжение. Одним из наиболее распространенных инструментов является метод NASA-TLX, который широко используется при анализе взаимодействия человека с техническими системами. Преимуществом субъективных методов является простота применения и отсутствие необходимости в специальном оборудовании. Однако их результаты могут зависеть от особенностей оператора и условий выполнения задачи [2].

Поведенческие методы основаны на анализе действий оператора в процессе выполнения задач. В качестве показателей могут использоваться время реакции, количество ошибок, скорость выполнения операций и общая эффективность работы. При увеличении когнитивной нагрузки оператор обычно реагирует медленнее и допускает больше ошибок. Такие методы позволяют оценивать влияние нагрузки на деятельность человека, однако они отражают в основном внешние проявления когнитивного состояния [2, 3].

Физиологические методы основаны на регистрации различных биометрических показателей. К ним относятся электроэнцефалография, айтрекинг, анализ вариабельности сердечного ритма и кожно-гальванической реакции. Использование таких методов позволяет получить более объективную информацию о состоянии оператора и отслеживать изменения когнитивной нагрузки в процессе работы [1–3].

В последние годы все большее внимание уделяется применению носимых сенсоров. Они позволяют проводить мониторинг физиологических параметров оператора в условиях, приближенных к реальной работе системы. Например, электроэнцефалография используется для анализа активности мозга, а системы айтрекинга позволяют изучать направление взгляда и особенности зрительного внимания. Дополнительную информацию о состоянии оператора могут давать показатели сердечного ритма и электродермальной активности [2, 4].

Основным преимуществом физиологических методов является их объективность. Кроме того, современные технологии позволяют автоматически обрабатывать полученные данные, в том числе с использованием методов машинного обучения. Однако такие методы требуют специального оборудования и более сложной обработки результатов, что может ограничивать их применение в некоторых условиях [1, 2, 4].

Важно отметить, что каждый из методов имеет свои ограничения. Субъективные методы отражают восприятие оператора, поведенческие методы показывают результаты его деятельности, а физиологические методы характеризуют текущее состояние организма. Поэтому во многих исследованиях используется комбинированный подход, позволяющий получить более полную оценку когнитивной нагрузки [1–3].

Снижение когнитивной нагрузки также связано с правильной организацией человеко-машинного интерфейса. Удобное расположение элементов управления, структурированное представление информации и использование визуальных подсказок помогают оператору быстрее воспринимать данные и принимать решения. По этой причине при проектировании интерфейсов большое внимание уделяется учету когнитивных особенностей пользователя [1, 4].

Методы оценки когнитивной нагрузки различаются по точности, сложности применения и возможностям использования в реальных условиях. Каждый из них имеет свои преимущества и ограничения, поэтому выбор метода зависит от целей исследования и условий эксплуатации системы. Основные характеристики рассмотренных методов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение методов оценки когнитивной нагрузки оператора [1–3]

Метод	Основной принцип	Преимущества	Ограничения
Субъективные	Самооценка оператором уровня когнитивной нагрузки с использованием опросников и шкал (например, NASA-TLX)	Простота применения; отсутствие необходимости в специальном оборудовании; удобство при сравнении интерфейсов	Зависимость от индивидуального восприятия оператора; невозможность непрерывного мониторинга
Поведенческие	Анализ времени реакции, количества ошибок, скорости и эффективности выполнения задач	Позволяют оценить влияние нагрузки на выполнение задач; относительно просты в применении	Косвенная оценка когнитивного состояния; результаты зависят от сложности задания
Физиологические	Регистрация биометрических показателей (EEG, eye-tracking, HRV, кожно-гальваническая реакция и др.)	Более объективная оценка; возможность мониторинга в реальном времени	Требуется специальное оборудование; сложность обработки и интерпретации данных

Как видно из таблицы, субъективные методы отличаются наибольшей простотой применения, однако их результаты могут зависеть от индивидуального восприятия оператора. Поведенческие методы позволяют анализировать эффективность выполнения задач, но не всегда дают прямую информацию о состоянии когнитивных процессов. Наиболее объективные результаты обеспечивают физиологические методы, однако их применение связано с использованием специального оборудования и сложностью обработки данных.

Выбор метода оценки определяется целями исследования: субъективные и поведенческие подходы подходят для предварительного анализа, а физиологические методы – для точного мониторинга состояния оператора в реальном времени.

При выборе метода оценки когнитивной нагрузки важно учитывать не только его точность, но и условия практического применения. В лабораторных исследованиях, где имеется возможность контролировать внешние факторы и использовать специализированное оборудование, наибольший интерес представляют физиологические методы. Они позволяют регистрировать изменения состояния оператора в динамике и получать более объективные данные о протекании когнитивных процессов. Однако в реальных условиях эксплуатации сложных систем их использование может быть затруднено из-за чувствительности оборудования к помехам, необходимости калибровки и сложности интерпретации полученных сигналов [1–4].

Субъективные и поведенческие методы в этом отношении являются более доступными для практического применения. Субъективные шкалы позволяют быстро получить обобщенную оценку воспринимаемой нагрузки после выполнения задания, а поведенческие показатели дают возможность выявить влияние нагрузки на результативность деятельности оператора. Вместе с тем использование только одного метода не всегда позволяет в полной мере охарактеризовать текущее состояние человека. Например, увеличение времени реакции или количества ошибок может быть связано не только с ростом когнитивной нагрузки, но и с утомлением, стрессом, недостаточной подготовкой оператора либо особенностями организации интерфейса [2, 3].

Мультимодальный подход, совмещающий субъективные, поведенческие и физиологические данные, обеспечивает наиболее полную и достоверную оценку состояния оператора. Такой подход особенно актуален для интеллектуальных и адаптивных человеко-машинных систем, в которых результаты оценки когнитивной нагрузки могут использоваться для автоматической корректировки интерфейса, перераспределения функций между человеком и автоматикой, а также предупреждения оператора о риске перегрузки [1, 2, 4].

Перспективны адаптивные интерфейсы, динамически меняющие способ представления данных и степень автоматизации в зависимости от текущей нагрузки пользователя. Использование адаптивных интерфейсов позволяет снизить информационную перегрузку оператора, повысить эффективность восприятия информации и уменьшить вероятность ошибок при управлении сложными техническими системами.

Заключение. Проведенный анализ показал, что для оценки когнитивной нагрузки оператора в человеко-машинных системах могут применяться различные методы. Субъективные методы отличаются простотой применения, поведенческие методы позволяют анализировать результаты деятельности оператора, а физиологические методы дают более объективную информацию о состоянии человека и могут использоваться для мониторинга в реальном времени.

Наиболее эффективным подходом является использование нескольких методов одновременно. Комбинирование различных способов оценки позволяет получить более точное представление о состоянии оператора и повысить надежность анализа. Перспективным направлением развития человеко-машинных систем является также внедрение адаптивных интерфейсов, которые могут учитывать уровень когнитивной нагрузки пользователя и снижать риск информационной перегрузки.

Список литературы

1 Ioniță, A.-R. Mind, Machine, and Meaning: Cognitive Ergonomics and Adaptive Inter-faces in the Age of Industry 5.0 / A.-R. Ioniță, D.-C. Anghel, T. Boudouh // Applied Sciences. – 2025. – Vol. 15. – Art. 7703. – DOI: 10.3390/app15147703.

2 Iarlori, S. An Overview of Approaches and Methods for the Cognitive Workload Estimation in Human–Machine Interaction Scenarios through Wearables Sensors / S. Iarlori, D. Perpetuini, M. Tritto [и др.] // BioMedInformatics. – 2024. – Vol. 4. – С. 1155–1173. – DOI: 10.3390/biomedinformatics4020064.

3 Abbas, A. N. Analyzing State of Operators and the Impact of AI-Enhanced Decision Support in Control Rooms: A Human-in-the-Loop Specialized Reinforcement Learning Framework / A. N. Abbas, C. W. Amazu, J. Mietkiewicz [и др.] // arXiv. – 2024. – arXiv:2402.13219.

4 Johnson, C. J. Cognitive Workload Considerations for Human–Machine Integrated Formations / C. J. Johnson, A. R. Marathe. – Aberdeen Proving Ground : DEVCOM Army Research Laboratory, 2025. – 22 с. – ARL-TN-1248.

UDC 331.101.1:004.5

COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR ASSESSING OPERATOR COGNITIVE WORKLOAD IN HUMAN–MACHINE SYSTEMS

Rudzko V.N.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Alefirenko V. M. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. The article examines the main methods for assessing an operator's cognitive workload in human–machine systems. A comparative analysis of subjective, behavioral, and physiological methods is carried out in terms of their application principles, advantages, limitations, and suitability for use in complex control systems. It is shown that subjective methods are easy to apply, behavioral methods make it possible to assess the impact of workload on operator performance, and physiological methods provide more objective information about the operator's state and are suitable for real-time monitoring. It is noted that the most promising approach is a combined one that integrates several cognitive workload assessment methods. The paper concludes that taking cognitive workload into account is important for the design of adaptive human–machine interfaces and for improving operator reliability under critical conditions.

Keywords: cognitive workload, operator, human–machine system, assessment methods

УДК 004.415.533

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ PAGE OBJECT И SCREENPLAY ПАТТЕРНОВ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ СЛОЖНЫХ СЦЕНАРИЕВ В БИЗНЕС-ПРИЛОЖЕНИЯХ

Шипуль А.Р.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Косарева Е.М. – ассистент кафедры ПИКС

Аннотация. В статье рассматриваются архитектурные подходы к построению автоматизированных тестов пользовательского интерфейса – Page Object Model и Screenplay. Актуальность исследования обусловлена усложнением корпоративных бизнес-приложений и необходимостью обеспечения масштабируемости и сопровождаемости тестовой архитектуры. Проведен сравнительный анализ паттернов по критериям связности компонентов, повторного использования кода, устойчивости к изменениям интерфейса и прозрачности бизнес-логики. Установлено, что при автоматизации сложных многошаговых сценариев Screenplay обеспечивает более гибкую и устойчивую архитектуру по сравнению с классической моделью Page Object.

Ключевые слова: автоматизация тестирования, Page Object Model, Screenplay, бизнес-приложения, UI-тестирование, масштабируемость

Введение. Усложнение архитектуры современных ERP-, CRM- и банковских систем с их многоэтапными формами и динамическими элементами делает автоматизацию тестирования критическим фактором обеспечения качества.

Одной из ключевых проблем при автоматизации сложных сценариев является поддерживаемость тестов. Изменения структуры интерфейса, добавление промежуточных шагов или модификация бизнес-логики часто приводят к необходимости переработки большого объема тестового кода. Для минимизации подобных рисков применяются архитектурные паттерны проектирования тестов. Наиболее распространенным из них является Page Object Model, описанный в рекомендациях проекта Selenium [1]. Альтернативным подходом выступает паттерн Screenplay, активно развиваемый в рамках фреймворка Serenity BDD [2].

Целью работы является сравнительный анализ эффективности указанных паттернов при автоматизации сложных сценариев в бизнес-приложениях.

Основная часть. При автоматизации тестирования пользовательских интерфейсов корпоративных информационных систем ключевое значение приобретает выбор архитектурного подхода к построению тестовой системы. В условиях роста числа модулей, усложнения бизнес-процессов и регулярных изменений интерфейса именно структура тестовой архитектуры определяет её сопровождаемость и устойчивость к изменениям.

Сложный сценарий здесь определяется как многошаговый процесс (например, оформление финансовой транзакции) с разветвленной логикой, зависимостью от ролей пользователя и передачей состояния между экранами.

Сравнительный анализ архитектурных подходов выполняется по следующим критериям:

– связанность компонентов тестовой системы;

– возможность повторного использования кода;

– устойчивость к изменениям пользовательского интерфейса;

– прозрачность и читаемость бизнес-логики сценариев;

– масштабируемость архитектуры при увеличении числа сценариев.

Одним из наиболее распространённых подходов к организации UI-тестов является Page Object Model. Данный паттерн предполагает представление каждой страницы веб-приложения в виде отдельного программного класса, инкапсулирующего элементы интерфейса и методы

взаимодействия с ними [1]. Тестовый сценарий формируется посредством последовательного обращения к соответствующим объектам страниц.

Структурная организация тестовой системы при использовании Page Object Model (рисунок 1):

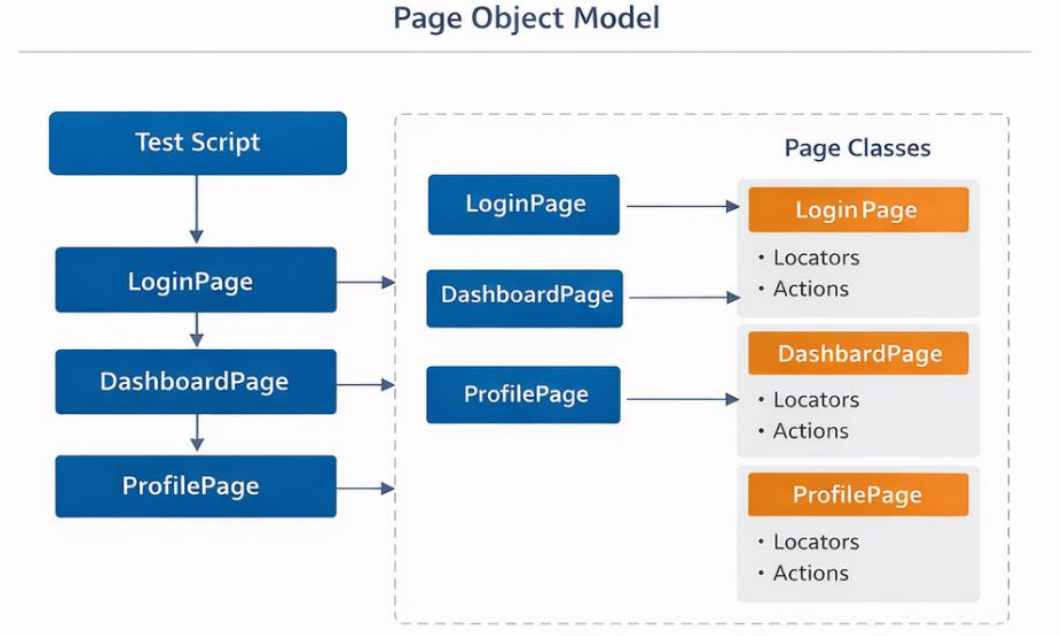


Рисунок 1 – Структурная схема взаимодействия тестового сценария с Page Object Model

Применение Page Object Model позволяет централизовать локаторы элементов, сократить дублирование кода и обеспечить базовую структурированность тестовой архитектуры. На начальном этапе внедрения автоматизации POM демонстрирует высокую эффективность благодаря простоте понимания и относительно невысоким требованиям к архитектурному проектированию. Особенно оправданным данный подход является в проектах с ограниченным числом экранов и линейной логикой пользовательских сценариев.

Кроме того, Page Object способствует разделению тестовой логики и технической реализации взаимодействия с интерфейсом. Это упрощает адаптацию тестов при незначительных изменениях DOM-структуры страницы. В небольших командах такой подход снижает порог входа в автоматизацию, поскольку структура «одна страница – один класс» интуитивно понятна даже начинающим инженерам.

Однако при масштабировании проекта начинают проявляться структурные ограничения данной модели. По мере увеличения количества страниц и сценариев классы Page Object усложняются, аккумулируя в себе как описание элементов, так и последовательность бизнес-действий. В результате один класс может содержать десятки методов, отражающих различные варианты использования страницы. Это приводит к нарушению принципа единственной ответственности и к постепенному росту связанности между компонентами тестовой системы [6].

Высокая связанность выражается в том, что изменение логики взаимодействия на одной странице способно повлиять на несколько тестовых сценариев одновременно. При наличии цепочек переходов между страницами формируются неявные зависимости, усложняющие рефакторинг. В условиях частых релизов и регулярных изменений интерфейса это приводит к увеличению времени поддержки тестов.

Дополнительной проблемой становится повторное использование действий. Например, операция поиска клиента или авторизации пользователя может присутствовать в нескольких модулях системы. В рамках Page Object такие действия зачастую реализуются в разных

классах страниц, что приводит к дублированию кода и повышению вероятности расхождения реализаций. Аналогичные проблемы сопровождения тестовых архитектур описаны в работах по шаблонам тестирования [3, 4].

Альтернативным подходом является паттерн Screenplay, основанный на модели взаимодействия «Актёр – Задача – Взаимодействие» [2, 5]. В данном случае тест описывает поведение пользователя, а не структуру страницы. Центральным элементом архитектуры выступает актёр, обладающий определёнными способностями и выполняющий задачи, состоящие из атомарных взаимодействий.

Общая схема организации тестовой системы в соответствии с паттерном Screenplay (рисунок 2):

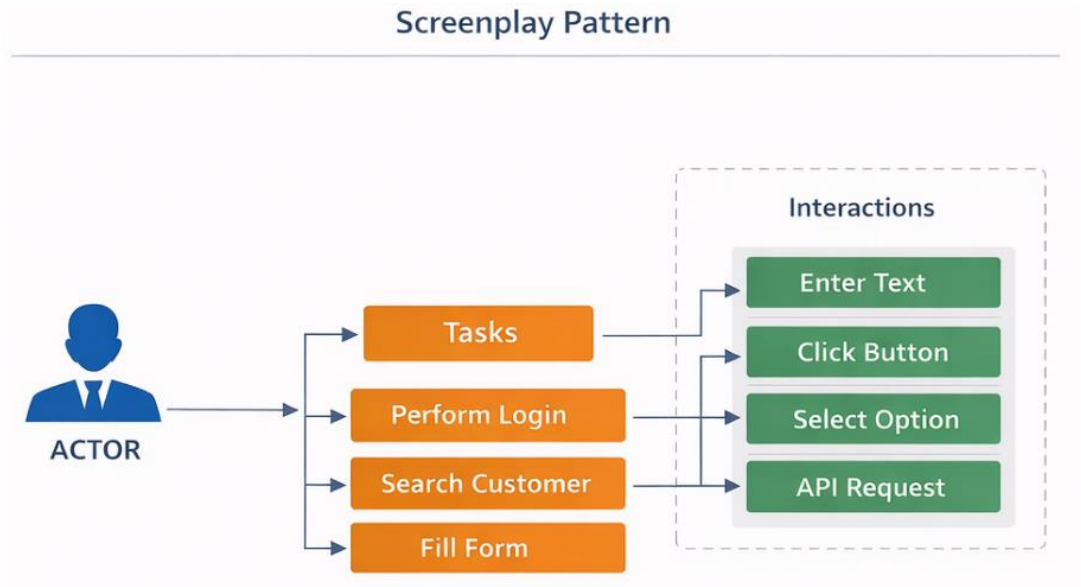


Рисунок 2 – Структурная схема архитектуры Screenplay

Screenplay обеспечивает глубокую декомпозицию: действия становятся переиспользуемыми атомарными блоками, абстрагированными от конкретных страниц до уровня бизнес-операций.

Данный подход согласуется с принципами объектно-ориентированного проектирования и способствует лучшей модульности системы. Изменение интерфейса требует корректировки только соответствующих взаимодействий или описаний элементов, не затрагивая бизнес-задачи целиком. Это существенно сокращает область влияния изменений и уменьшает риск возникновения каскадных ошибок в тестах.

Дополнительным преимуществом является повышение прозрачности сценариев. Тестовые отчеты формируются как последовательность логически завершенных действий пользователя, что делает их понятными не только разработчикам, но и аналитикам или менеджерам проекта.

Сравнительный анализ показывает, что Page Object является эффективным решением для небольших проектов с ограниченным числом сценариев и стабильным интерфейсом. Он обеспечивает быстрый старт автоматизации и минимальные архитектурные издержки. В то же время при автоматизации крупных бизнес-приложений с длительным жизненным циклом Screenplay демонстрирует более высокую устойчивость к изменениям и лучшую масштабируемость. Исследования в области автоматизации подтверждают, что более глубокая декомпозиция тестовой логики способствует снижению затрат на сопровождение в долгосрочной перспективе [7, 8].

Следует отметить, что внедрение Screenplay требует предварительного архитектурного проектирования и более высокой квалификации команды. На начальном этапе это может

увеличить трудозатраты и усложнить структуру проекта. Однако при длительном сопровождении системы данный подход позволяет избежать накопления технического долга, характерного для чрезмерно разросшихся Page Object-классов.

Таким образом, различия между рассматриваемыми паттернами проявляются прежде всего при работе со сложными, многошаговыми бизнес-сценариями, где критическое значение приобретают модульность, переиспользование и устойчивость к изменениям.

Заключение. В результате проведенного анализа установлено, что выбор между Page Object Model и Screenplay зависит от масштаба проекта и стратегических целей автоматизации. Page Object остается рациональным решением при ограниченных ресурсах и относительно простой структуре приложения.

При автоматизации сложных многошаговых сценариев в корпоративных системах Screenplay обеспечивает более гибкую архитектуру, снижает связанность компонентов и повышает устойчивость тестов к изменениям пользовательского интерфейса. Таким образом, для крупных бизнес-приложений с длительным циклом сопровождения применение Screenplay является более эффективным с точки зрения масштабируемости и поддерживаемости автоматизированной тестовой системы.

Список литературы

1. Freeman, S. Growing Object-Oriented Software, Guided by Tests / S. Freeman, N. Pryce. – Boston : Addison-Wesley, 2009. – 768 p. – ISBN 978-0-321-50362-6.

2. Meszaros, G. xUnit Test Patterns: Refactoring Test Code / G. Meszaros. – Boston : Addison-Wesley, 2007. – 883 p. – ISBN 978-0-321-20790-9.

3. Crispin, L. Agile Testing: A Practical Guide for Testers and Agile Teams / L. Crispin, J. Gregory. – Boston : Addison-Wesley, 2009. – 536 p. – ISBN 978-0-321-53446-0.

4. Fewster, M. Software Test Automation: Effective Use of Test Execution Tools / M. Fewster, D. Graham. – Harlow : Addison-Wesley, 1999. – 592 p. – ISBN 978-0-201-33140-3.

5. Smart, J. F. BDD in Action: Behavior-Driven Development for the Whole Software Lifecycle / J. F. Smart. – Shelter Island : Manning Publications, 2015. – 440 p. – ISBN 978-1-61729-165-4.

6. Martin, R. C. Clean Architecture: A Craftsman's Guide to Software Structure and Design / R. C. Martin. – Boston : Prentice Hall, 2017. – 432 p. – ISBN 978-0-13-449416-6.

7. Fowler, M. Patterns of Enterprise Application Architecture / M. Fowler. – Boston : Addison-Wesley, 2002. – 560 p. – ISBN 978-0-321-12742-6.

8. Selenium Documentation. Page Object Models / Selenium Project // Selenium Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.selenium.dev/documentation/test_practices/encouraged/page_object_models/ (дата обращения: 02.03.2026).

9. Serenity BDD Screenplay Pattern / Serenity BDD // Serenity Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://serenity-bdd.info/docs/screenplay (дата обращения: 02.03.2026).

UDC 004.415.533

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF PAGE OBJECT AND SCREENPLAY PATTERNS IN AUTOMATING COMPLEX SCENARIOS IN BUSINESS APPLICATIONS

Shipul A.R.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Scientific advisor: Kosareva E.M. – Assistant Lecturer, Department of ICSD

Annotation. The article examines architectural approaches to building automated user interface tests, namely the Page Object Model and the Screenplay pattern. The relevance of the study is determined by the increasing complexity of corporate business applications and the need to ensure scalability and maintainability of test architecture. A comparative analysis of the patterns was carried out based on the criteria of component coupling, code reusability, resistance to interface changes, and transparency of business logic. It has been established that when automating complex multi-step scenarios, the Screenplay pattern provides a more flexible and sustainable architecture compared to the classical Page Object model.

Keywords: test automation, Page Object Model, Screenplay, business applications, UI testing, scalability

УДК 004.4′ 242:004.6-027.45

МЕТОД ОЦЕНКИ ОЖИДАЕМОЙ НАДЁЖНОСТИ ПРИКЛАДНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ

Силенкова Д.С., Зацепина М.И.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Боровиков С.М. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. В работе рассматривается метод оценки ожидаемой надежности прикладной компьютерной программы до начала написания кода на языке программирования. Метод учитывает особенности организации, разрабатывающей программное обеспечение, квалификацию программистов и основные характеристик планируемой к разработке компьютерной программы. На конкретном примере проиллюстрировано применение метода.

Ключевые слова: надёжность прикладной компьютерной программы, интенсивность проявления скрытых дефектов, вероятность безотказной работы программы

Введение. Оценка эксплуатационной надежности ПО на этапе проектирования критична для определения рентабельности разработки и итоговых характеристик системы.

Цель работы – расчет ожидаемой надежности прикладного ПО на конкретном примере..

Основная часть. Для иллюстрации метода расчета ожидаемой надежности прикладной компьютерной программы использованы следующие исходные данные:

– прогнозный объём компьютерной программы L = 30 KLOC (KLOC – англоязычный вариант размерности «тысяч строк программного кода»);

календарное рабочее время тестирования компьютерной программы T = 700 ч;

– средний процент времени прогона компьютерной программы (r) при её тестировании, зависит от области применения программы, принято r = 2,5% [1, 3];

– заданный период эксплуатации τ, для которого определяют проектный уровень эксплуатационной надёжности компьютерной программы, τ = 720 ч;

– прогнозное число обращений в час к компьютерной программе (η) в течение заданного периода эксплуатации τ = 720 ч, принято $\eta = 2$ ч$^{-1}$;

– указанное в технической документации пиковое быстродействие процессора, используемого в компьютере, $R = 5 \cdot 10^8$ операций в секунду;

– язык программирования для написания программного кода: C++.

Для выбора коэффициентов, определяющих метрики компьютерной программы использованы работы [1–3]. Последовательность оценки ожидаемой надёжности программы:

1 Уточняем метрику производственной среды разработки компьютерной программы (D):

$$D = K_{\text{орг}} \cdot K_{\text{квал}} = 0{,}76 \cdot 1{,}3 = 0{,}988. \quad (1)$$

где $K_{\text{орг}}$ – коэффициент, учитывающий особенность проектной организации; принято $K_{\text{орг}} = 0{,}76$ (организация, эксплуатирующая компьютерную информационную систему) [1, 3];

$K_{\text{квал}}$ – коэффициент, учитывающий квалификацию программистов, принято $K_{\text{квал}} = 1{,}3$ (младший программист – Junior Developer) [1, 3].

2 Определяем коэффициент сложности программного обеспечения ($K_{\text{слож}}$), учитывающий наличие факторов (m), влияющих на трудоёмкость разработки и тестирования компьютерной программы:

$$K_{\text{слож}} = 1 + \sum_{i=1}^{m} k_i = 1 + k_1 + k_2 = 1 + 0{,}08 + 0{,}06 = 1{,}14, \quad (2)$$

где k_i – коэффициент повышения сложности прикладной компьютерной программы за счёт наличия у нее i-й характеристики; принято m = 2, коэффициенты k_i получены по [2].

3 Находим метрику S, учитывающую характеристики разрабатываемой компьютерной программы: влияние сложности ($K_{слож}$), новизны ($K_{нов}$), используемых средств разработки ($K_{ср.разр}$) и степени использования в программе готовых программных модулей ($K_{мод}$). Коэффициенты выбраны с учётом документа [2].

$$S = K_{слож} \cdot K_{нов} \cdot K_{ср.разр} \cdot K_{мод} = 1{,}14 \cdot 0{,}81 \cdot 1{,}2 \cdot 0{,}77 \approx 0{,}853. \quad (3)$$

4 Определяем начальную плотность ошибок в компьютерной программе (F_0), характеризующую ожидаемое количество скрытых дефектов в программном коде после устранения ошибок, вызванных нарушением правил языка программирования:

$$F_0 = F_Б \cdot D \cdot S = 8{,}5 \cdot 0{,}988 \cdot 0{,}853 = 7{,}163 \text{ ошибок/KLOC}, \quad (5)$$

где $F_Б$ = 8,5 ошибок/KLOC – базовая (усреднённая) плотность ошибок для прикладных компьютерных программ, предназначенных для АСУ [1, 3].

5 Даём оценку прогнозному значению количества команд, выполняемых программой:

$$B = L \cdot E_L \cdot E_ц = 30000 \cdot 6 \cdot 30 = 5{,}4 \cdot 10^6 \text{ команд}, \quad (6)$$

где E_L – коэффициент расширения кода программы относительно числа строк кода L, определяется используемым языком программирования, для (C++) $E_L \geq 6{,}0$.

$E_ц$ – коэффициент увеличения числа выполняемых процессором команд за счёт наличия в программе условных переходов, ветвлений и других особенностей (ввод-вывод данных, считывание с внешних носителей, ожидание в очереди, обработка прерываний).

Значение $E_ц$ выбирается на основе экспертной оценки с учетом алгоритма программы, характера входных данных и сложности операций, а при неопределенности рекомендуется диапазон 20–50 (принято $E_ц = 30$).

6 Определяем пиковую скорость выполнения команд компьютерной программы ($V_{пик}$) для пикового быстродействия процессора:

$$V_{пик} = \frac{R}{B} = \frac{5 \cdot 10^8}{5{,}4 \cdot 10^6} = 92{,}5926 \text{ с}^{-1}. \quad (7)$$

7 Находим начальную интенсивность отказов λ_0 (интенсивность проявления скрытых ошибок), т.е. интенсивность отказов программы до начала её тестирования:

$$\lambda_0 = 60 \cdot K_\Sigma \cdot V_{пик} \cdot F_0 \cdot L \cdot 10^{-6} = 60 \cdot 19{,}2 \cdot 92{,}5926 \cdot 7{,}163 \cdot 30 \cdot 10^{-6} = 22{,}9216 \text{ ч}^{-1}, \quad (8)$$

где K_Σ – коэффициент увеличения интенсивности отказов из-за суммарного действия изменчивости входных данных и рабочей нагрузки на компьютерную программу со стороны эксплуатационной среды (ввод данных, использование принтера, ожидание операций в очереди и т. д); для компьютерных программ, используемых для АСУ, K_Σ = 19,2 [1, 3].

8 Находим проектное значение коэффициента тестирования Q компьютерной программы в предположении, что тестирование программы выполняется в течение заданного (бюджетного) календарного рабочего времени T [1]:

$$Q = \exp\left[\frac{60\cdot 10^{-6}\cdot K_{\Sigma}\cdot R\cdot T\cdot (r/100)}{B}\right] = \exp\left[\frac{60\cdot 10^{-6}\cdot 19{,}2\cdot (5\cdot 10^{8})\cdot 700\cdot (2{,}5/100)}{5{,}4\cdot 10^{6}}\right] = 6{,}47. \quad (9)$$

9 Определяем эксплуатационную интенсивность отказов компьютерной программы ($\lambda_{экс}$):

$$\lambda_{экс} = \frac{\lambda_0}{Q} = \frac{22{,}9216}{6{,}47} = 3{,}5428\ \text{ч}^{-1}. \quad (10)$$

10 Вероятность безотказной работы программы в течение календарного времени τ (принята во внимание работа [1] и документ [4]):

$$P(\tau) = (P_1)^{\eta\cdot\tau} = \left[\exp\left(-\lambda_{экс}\cdot B \Big/ (3600\cdot 0{,}7\cdot R)\right)\right]^{\eta\cdot\tau} = \quad (11)$$

$$= \left[\exp\left(-3{,}5428\cdot 5{,}4\cdot 10^{6} \Big/ (3600\cdot 0{,}7\cdot 5\cdot 10^{8})\right)\right]^{2\cdot 720} = 0{,}978373 \approx 0{,}98.$$

где P_1 – вероятность безотказной обработки одного усредненного набора исходных данных.

Заключение. Иллюстрация применения метода примером позволит лучше осмыслить подход, используемый для оценки ожидаемой надёжности планируемой к разработке прикладной компьютерной программы.

Список литературы

1. Боровиков, С. М. Надежность разрабатываемых прикладных компьютерных программ для информационных систем = Reliability of developed application computer programs of information systems / С. М. Боровиков, А. В. Будник, В. Т. Лэ // Проблемы инфокоммуникаций : научный журнал. – 2025. – № 1. – С. 25–34.

2. Постановление министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь 27 июня 2007 г. № 91 «Об утверждении укрупнённых норм затрат труда на разработку программного обеспечения» [Электронный ресурс]. – URL: https://news-newsby-org.narod.ru/doc-razn/pos05/postn05236/index.htm (дата обращения 24.02.2025).

3. McCall J.A., Randell W., Dunham J., Lauterbach L. Software reliability, measurement, and testing guidebook for software reliability measurement and testing // RL-TR-92-52: Final Technical Report, Vol II (of two) / Science Applications International Corp., Research Triangle Institute. – Rome Laboratory, NY 13441-5700, 1992. – 256 p. – URL: https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA256164.pdf (дата обращения 24.02.2025).

4. ГОСТ 27.205-97 Надёжность в технике. Проектная оценка надёжности сложных систем с учётом технического и программного обеспечения и оперативного персонала. Основные положения. – Минск: Госстандарт Республики Беларусь, 2005. – 22 с.

UDC УДК 004.4′ 242:004.6-027.45

METHOD FOR ASSESSING THE EXPECTED RELIABILITY OF APPLIED COMPUTER PROGRAMS

Silenkova D.S., Zatsepina M.I.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic o Belarus

Borovikov S.M. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. This paper examines a method for assessing the expected reliability of an application program before coding it in a programming language. The method takes into account the characteristics of the software development organization, the qualifications of the programmers, and the key characteristics of the planned computer program. A specific example illustrates the application of the method.

Keywords*:* software reliability, the intensity of the manifestation of hidden defects, the probability of failure-free operation of the program

УДК 004.42

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО РЕАЛИЗАЦИИ КЛИЕНТСКОГО СЕРВИСА АВТОМАТИЗАЦИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С СЕРВИСНОЙ КОМПАНИЕЙ

Василевич П.М.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Верхов К.А. – ассистент кафедры ПИКС

Аннотация. В статье рассматривается разработка программного средства для автоматизации взаимодействия клиента с сервисной компанией по ремонту электроники. Программное средство позволит управлять жизненным циклом заявок на ремонт, клиентской базой, коммуникацией и каталогом услуг для повышения качества обслуживания в сервисной компании.

Ключевые слова: программное средство, клиентский сервис, автоматизация взаимодействия, сервисная компания.

Введение. В условиях высокой конкуренции на рынке ремонтных услуг эффективная организация взаимодействия с заказчиками становится ключевым фактором успеха для сервисных компаний [1]. Зачастую управление заявками, ведение клиентской базы и коммуникация с клиентами осуществляются с использованием разрозненных инструментов или ручных методов, что приводит к ряду проблем: потере истории обращений, ошибкам при оформлении документов, низкой скорости обработки заказов и неэффективной обратной связи с клиентом. Эти факторы негативно сказываются на лояльности потребителей и репутации компании.

В данной статье рассматривается концепция и функционал программного средства, разработанного для автоматизации полного цикла обслуживания в сервисной компании по ремонту электронных устройств. Внедрение описываемой системы позволит минимизировать влияние человеческого фактора, ускорить процессы приема и выдачи техники, обеспечить эффективное управление коммуникацией с клиентами и программами лояльности, а также провести анализ работы сервисной компании.

Основная часть. Разработка программного средства для автоматизации взаимодействия с сервисной компанией направлена на создание единой цифровой среды для управления взаимодействия сервисного центра с клиентом, объединяющей процессы обработки заявок и коммуникацией.

Разрабатываемое программное средство решает следующие задачи:

– создание единого информационного пространства для хранения данных о клиентах и их историях обращений, заявках и услугах, что облегчает управление и доступ к ним;

– предоставление клиенту возможности отслеживать статус ремонта в режиме реального времени, что снижает нагрузку на колл-центр;

– автоматическое формирование квитанций, актов выполненных работ и гарантийных талонов на основе данных заявки, что минимизирует ошибки ручного ввода;

– внедрение системы скидок и промокодов для удержания постоянных клиентов;

– анализ ключевых показателей работы компании для принятия управленческих решений;

Функциональные возможности системы и описание взаимодействия ролей с программным продуктом описаны в диаграмме вариантов использования. Данная диаграмма представлена на рисунке 1.

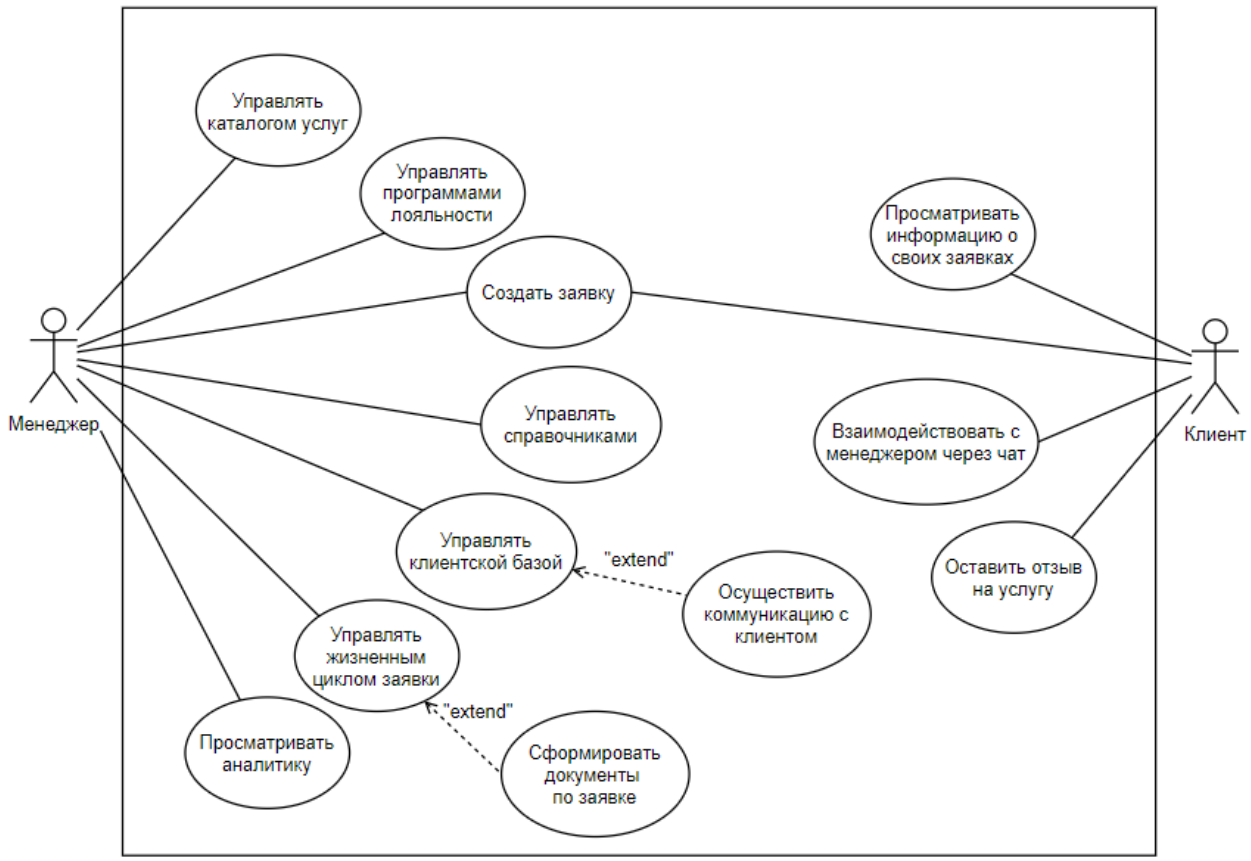


Рисунок 1 – Диаграмма вариантов использования

На диаграмме выделено две роли: Менеджер и Клиент.

Менеджер имеет возможность управлять каталогом услуг, заявками, справочниками (типы и модели устройств, категории услуг), клиентской базой и программами лояльности, а также просматривать аналитику.

Клиент может создать заявку, просматривать информацию о своих заявках, оставлять отзывы на услуги, а также взаимодействовать с менеджером через чат.

Назначение и границы программного средства были описаны с помощью контекстной диаграммы, представленной на рисунке 2.

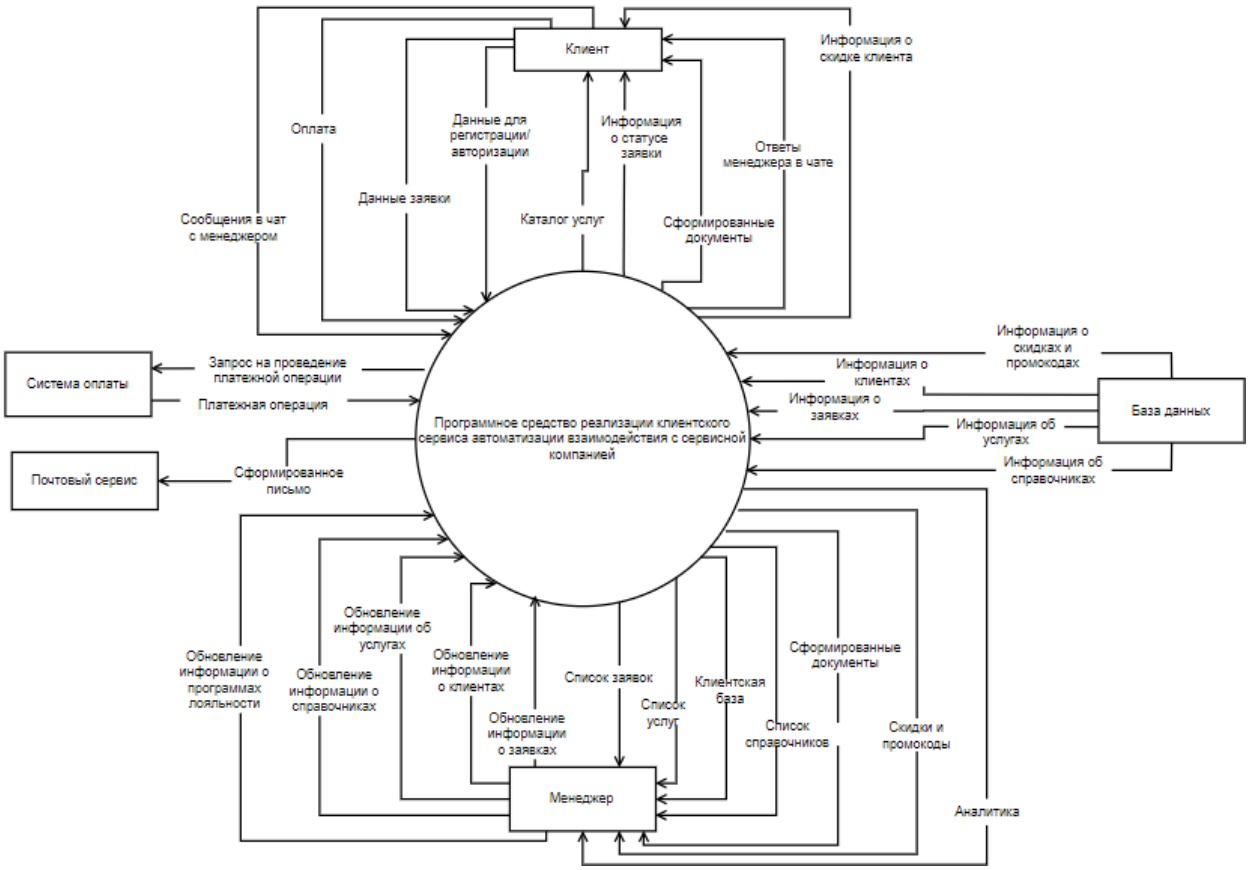


Рисунок 2 – Контекстная диаграмма

Представленное программное средство охватывает все этапы взаимодействия клиента с сервисной компанией, от первого обращения до постгарантийного обслуживания, обеспечивая автоматизацию рутинных операций и предоставляя инструменты для стратегического планирования.

Заключение. Разработанное программное средство предоставляет сервисным компаниям эффективный инструмент для автоматизации взаимодействия с клиентами и управления процессами ремонта электроники. Система обеспечивает централизованное хранение данных, управление жизненным циклом заявок и прозрачность коммуникации, что позволяет оптимизировать операционную деятельность компании.

Внедрение описанного программного средства способствует достижению следующих целей:

– повышение качества обслуживания и уровня лояльности клиентов за счет оперативного информирования о статусах ремонта и использования программ лояльности;

– минимизация рутинных операций и ошибок персонала благодаря автоматизации документооборота и расчетов;

– обеспечение руководства компании аналитической информацией для прогнозирования спроса и принятия обоснованных управленческих решений.

Резюмируя вышесказанное, можно утверждать, что разработанное программное средство является эффективным инструментом цифровой трансформации сервисного центра. Оно не только оптимизирует повседневную работу менеджеров, но и существенно повышает конкурентоспособность бизнеса на насыщенном рынке ремонтных услуг, закладывая фундамент для долгосрочного роста и улучшения деловой репутации компании.

В качестве направления для дальнейшего развития системы рассматривается интеграция с платежными шлюзами для онлайн-оплаты услуг и внедрение модулей автоматического уведомления клиентов через популярные мессенджеры.

Список литературы

1. Клиентский сервис: основные правила и способы развития [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://okdesk.ru/blog/razvitie-klientskogo-servisa/. – Дата доступа: 01.03.2026.

UDC 004.42

SOFTWARE TOOL FOR IMPLEMENTING CUSTOMER SERVICE OF AUTOMATING INTERACTION WITH A SERVICE COMPANY

Vasilevich P.M.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Verkhov K.A. – assistant of the department of ICSD

Annotation. The article discusses the development of a software tool for automating client interaction with an electronics repair service company. The software tool enables the management of the repair request lifecycle, client base, communication, and service catalog to improve the quality of service in the service company.

Keywords: software tool, customer service, interaction automation, service company.

УДК 004.5

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ В УПРАВЛЕНИИ КОМПЬЮТЕРОМ

Яцковец М.А., Завалей В.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Скиба И.Г. – магистр, ассистент кафедры ЭВМ

Аннотация: В данной статье анализируются перспективы использования компьютерного зрения для управления ПК. Рассматриваются ключевые методы взаимодействия (жестовое управление, трекинг головы и глаз), реализуемые на базе стандартных веб-камер. Выявляются основные технические и эргономические барьеры внедрения.

Ключевые слова: нейросети, компьютерное зрение, человеко-машинное взаимодействие

Введение. Массовое распространение технологий компьютерного зрения в мобильных приложениях наглядно демонстрирует её зрелость. Даже на устройствах с ограниченными ресурсами успешно реализован надежный трекинг головы и жестов в реальном времени, что доказывает преодоление основных технических барьеров для внедрения подобных решений. Однако наблюдается существенный разрыв между использованием технологий в развлекательных целях и их внедрением в более профессиональную среду персональных компьютеров. В данной работе исследуются перспективы внедрения компьютерного зрения в управление персональным компьютером.

Основная часть. Современное компьютерное зрение предлагает три ключевых способа взаимодействия и регистрации действий. Каждый из них базируется на отслеживании специфических точек тела человека и интерпретации их движений.

Наиболее естественным способом ввода является перенос моторики рук в цифровое пространство. Современные алгоритмы (например, архитектуры, используемые в решениях MediaPipe или OpenPose) позволяют строить 3D-модель кисти по RGB-изображению, отслеживая ключевые точки, такие как суставы пальцев. Примером способа ввода может быть позиция указательного пальца, интерпретируемая как курсор, а «щипок» как триггер клика. В качестве технологической базы используются легковесные сверточные нейросети, обученные на синтетических данных, специально подобранных для повышения устойчивости к перекрытиям, когда пальцы закрыты преградой. В массовом ПО распознавание рук ограничивается определением простейших жестов (например, «палец вверх») для активации эмодзи-реакций в платформах видеосвязи.

Навигация на основе положения головы позволяет использовать голову пользователя как указатель, так и аналог джойстика. Алгоритмы решают задачу Perspective-n-Point, определяя ориентацию головы в пространстве на основе 2D-проекции лица. Как дополнительные средства управления, вертикальные наклоны головы можно использовать для скроллинга текста, горизонтальные – для переключения вкладок или окон. Для команд нажатия клавиш можно использовать жесты лица: поднятие бровей, моргание или открытие рта. Это реализуется через анализ геометрии лицевой сетки, содержащей множество опорных точек лица, или через векторную оценку положения головы в пространстве [1]. Для обычного потребителя использование наклонов и поворотов головы сосредоточено преимущественно в развлекательном сегменте приложений для управления масками или игровыми механиками, практически не применяясь в более серьезных задачах.

Отслеживание положения глаз позволяет определять точку фиксации взгляда на экране. В данном случае взгляд может использоваться для быстрого перемещения курсора. Метод основывается на том, что нейросети сегментируют область радужной оболочки и зрачка, а затем сопоставляют их положение с вектором головы для вычисления финальной координаты

на плоскости монитора [2]. Технологии отслеживания взгляда на данный момент применяются в основном для отслеживания внимания пользователя.

Изначально для точного трекинга тела требовались дорогостоящие системы с нательными датчиками и маркерами, доступные лишь специализированным компаниям. В то же время для отслеживания взгляда требуются высокоточные и дорогостоящие инфракрасные датчики. Большим скачком вперед стало появление сенсоров глубины (например, Microsoft Kinect), которые позволили отказаться от надеваемой электроники, но все еще требовали покупки отдельного устройства. Сегодня, благодаря прогрессу в нейросетях, мы переходим к использованию обычных камер, встроенных в каждый современный ноутбук. Современные алгоритмы способны вычислять глубину и геометрию движений, позволяя реализовать качественное управление на любой веб-камере.

Несмотря на доступность алгоритмов, массовое внедрение систем компьютерного зрения в качестве основного инструмента ввода ограничивается рядом эргономических и технических факторов. В отличие от нажатия физической кнопки, взгляд или положение головы всегда активны. Системе часто бывает сложно отделить случайное действие от осознанной команды. Это требует разработки сложных алгоритмов фильтрации и контекстного понимания, чтобы избежать непреднамеренных взаимодействий. Длительное использование средств управления, связанных с активным движением, быстро вызывает мышечную усталость. Поэтому решения, основанные на жестах и движениях головой, непригодны для продолжительной работы. Они больше подходят для коротких сессий или специфических задач. Обычные веб-камеры чувствительны к освещению, поэтому неправильно поставленный свет и низкая освещенность снижают точность определения ключевых точек, что ведет к недопустимым проблемам с управлением.

Заключение. Методы компьютерного зрения имеют огромный потенциал в задачах облегчения и расширения взаимодействия человека и компьютера. Стремительное совершенствование нейросетевых архитектур и аппаратного обеспечения, вероятно, позволит в ближайшей перспективе минимизировать технические сложности, обеспечив стабильную работу алгоритмов в различных условиях эксплуатации. Это создаст возможности для массовой интеграции бесконтактного управления в программное обеспечение широкого профиля в качестве эффективного дополнения к традиционным средствам ввода.

Социально-экономическая значимость в данном контексте также крайне велика. Использование стандартных веб-камер для отслеживания взгляда и движений обеспечит полноценный доступ к компьютерам для разнообразного спектра пользователей.

Список литературы

1. Fine-Grained Head Pose Estimation Without Keypoints / N. Ruiz, E. Chong and J. M. Rehg // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2018

2. MPIIGaze: Real-World Dataset and Deep Appearance-Based Gaze Estimation / X. Zhang, Y. Sugano, M. Fritz, A. Bulling [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://arxiv.org/abs/1711.09017 – Дата доступа: 13.02.2026

UDC 004.5

PROSPECTS FOR USING COMPUTER VISION IN COMPUTER CONTROL

Yatskovets M.A., Zavalei V.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Skiba I.G. – Assistant of the department of ECS

Annotation: This article analyzes the potential for using computer vision for PC control. Key interaction methods (gesture control, head and eye tracking) implemented using standard webcams are discussed. The main technical and ergonomic barriers to implementation are identified.

Keywords: neural networks, computer vision, human-machine interaction

УДК 004.415.53:616.1

ТЕСТИРОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА ДИАГНОСТИКИ И КОРРЕКЦИИ ПОСТИНСУЛЬТНОГО БОЛЕВОГО СИНДРОМА

Шумская Я.П., Кушнер А.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Косарева Е.М. – магистр, ассистент кафедры ПИКС

Аннотация. Экспериментально исследовано функционирование программного средства диагностики и коррекции постинсультного болевого синдрома, предназначенного для автоматизации процессов ведения пациентов, проведения медицинских тестов (VAS, DN4, CSI, HADS), а также формирования диагностических заключений и рекомендаций по лечению. Было выполнено более 60 тест-кейсов, охватывающих ключевые пользовательские сценарии, включая регистрацию и аутентификацию пользователей, управление пациентами, прохождение медицинских тестов и разграничение прав доступа. Успешно пройденных тест-кейсов – 75%. Установлено, что наибольшее влияние на корректность функционирования системы оказывают дефекты, приводящие к созданию некорректных данных и нарушению последовательности выполнения обязательных сценариев тестирования. Предложены рекомендации по улучшению программного средства, включающие усиление серверной валидации, доработку бизнес-логики, унификацию пользовательского интерфейса и т.д.

Ключевые слова: медицина, постинсультный болевой синдром, ручное тестирование, тест-кейсы, бизнес-логика, REST-архитектура, автоматизация медицины

Введение. Сфера медицины все стремительнее развивается с каждым годом. Она опирается не только на привычные исследования и методы работы с пациентами, но и на различные программные решения. Последние помогают работникам медицинской сферы принимать решения, уточнять диагнозы и многое другое. Именно поэтому к подобным программным средствам предъявляются серьезные требования к качеству и безопасности. В таком тестировании важно учитывать даже маленькие дефекты, поскольку они могут привести к серьезным последствиям.

В данной работе рассматривается процесс ручного тестирования веб-приложения, направленного на автоматизацию процесса прохождения тестов на диагностику пациентов с болью после инсульта и предложения врачу рекомендованного лечения, а также автоматизацию формирования заключений. Основной метод тестирования – ручное функциональное тестирование по формализованным тест-кейсам. Ручное тестирование позволяет выявить не только критические ошибки бизнес-логики, но и недостатки пользовательского интерфейса.

Основная часть. Тестируемое программное средство представляет собой веб-приложение для врачей и пациентов, предназначенное для автоматизации процесса диагностики и отслеживании истории лечения и пройденных медицинских тестов. Система построена по клиент-серверной архитектуре с использованием REST-взаимодействия. Язык программирования – Python. Для врачей приложение предлагает автоматизацию ведения базы пациентов с их схемой лечения, список доступных лекарств, а также четыре вида медицинских тестов для помощи в постановке диагноза. Приложение также позволяет отслеживать историю диагнозов и проведенных тестов, корректировать методы лечения. Для пациентов доступен функционал отслеживания истории медицинских тестов, просмотр и отслеживание диагноза и схемы лечения, включая назначенные препараты.

Функциональное тестирование проводилось вручную по заранее подготовленным тест-кейсам, включая как позитивные, так и негативные сценарии. Для каждого теста были зафиксированы предусловия, последовательность шагов, ожидаемый и фактический результаты выполнения.

Ручное тестирование является процессом, в ходе которого QA-специалисты проверяют функциональность программного обеспечения, имитируя действия пользователя [1]. Это делается с целью выявления дефектов и ошибок, которые могут повлиять на его работу.

В процессе тестирования было разработано и выполнено 60 тест-кейсов. Они охватывают процессы регистрации, авторизации, управления пациентами и их карточками, медицинские тесты и разграничение прав доступа. Фрагмент разработанных текст-кейсов приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Фрагмент разработанных тест-кейсов

ID	Название теста	Предусловие	Шаги	Ожидаемый результат
РЕГИСТРАЦИЯ (ШАГ 1 – ЛИЧНЫЕ ДАННЫЕ)				
TC-REG-001	Успешная регистрация врача – корректные данные на Шаге 1	Открыта страница /accounts/register/. Пользователь не авторизован.	1. Ввести корректное Имя 2. Ввести корректное Отчество 3. Ввести кореректную Фамилию 4. Ввести валидный Email 5. Ввести пароль ≥1 спец. символ, ≥1 цифра, ≥1 заглавная 6. Нажать «Продолжить»	Редирект 302 на /accounts/register + 200 с эндпоинтом /accounts/register/professional/.
TC-REG-002	Поле «Имя»: цифры запрещены	Страница регистрации Шаг 1 открыта.	1. Ввести «Иван1» в поле Имя 2. Нажать «Продолжить»	Красная рамка поля, текст «Цифры и спец. символы запрещены». Переход заблокирован.
TC-REG-003	Поле «Имя»: спецсимволы запрещены	Страница регистрации Шаг 1 открыта.	1. Ввести «Иван@» в поле Имя 2. Нажать «Продолжить»	Красная рамка + «Цифры и спец. символы запрещены». Переход заблокирован.
TC-REG-004	Поле «Имя»: пустое значение	Страница регистрации Шаг 1 открыта.	1. Оставить поле Имя пустым 2. Нажать «Продолжить»	Красная рамка + «Вы не ввели имя». Переход заблокирован.
TC-REG-005	Поле «Email»: пустое значение	Все поля кроме Email заполнены корректно.	1. Оставить поле Email пустым 2. Нажать «Продолжить»	Красная рамка + «Вы не ввели свой email». Переход заблокирован.

По результатам верификации 45 тест-кейсов завершились успешно, а 15 кейсов отмечены как проваленные из-за несоответствия фактического результата и ожидаемого. Таким образом, доля успешных сценариев составила 75%, доля сценариев с дефектами – 25%, соответственно.

Основные дефекты связаны с нарушением механизмов валидации входных данных, некорректной реализацией бизнес-логики, нарушением принципа единообразия интерфейса и обратной связи пользователю, отсутствием некоторых UI-элементов. Так, допускается создание сущности при отсутствии обязательных полей (локализация боли, дата рождения), отсутствует валидация года рождения, различные форматы сообщений об ошибках в разных формах, отсутствие в некоторых местах подсказок при ошибке и другие. Но самыми критичными являются ошибки бизнес-логики: возможность выполнения действий без выполнения всех обязательных этапов (например, частичное прохождение теста), некорректная логика переходов между этапами регистрации и возможность выполнения операций при некорректных данных.

Фрагмент баг-репорта представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Фрагмент баг-репорта

Признак	**Описание**
Баг – Отсутствие валидации обязательных полей	
ID	BUG-001
Связанный тест-кейс	TC-PAT-001
Severity	Critical
Priority	High
Описание	Система позволяет создать пациента без обязательных полей
Шаги	1 Добавить пациента 2 Не заполнить поля (локализация боли, дата рождения) 3 Сохранить
Ожидаемый результат	Ошибки валидации, создание запрещено
Фактический результат	Пациент создается
Влияние	Некорректные и неполные медицинские данные
Баг – Нарушение бизнес-логики тестирования	
ID	BUG-003
Связанный тест-кейс	TC-VAS-, TC-DN4-, TC-CSI-, TC-HADS-
Severity	Critical
Priority	High
Признак	**Описание**
Описание	Можно завершить тестирование пациента без прохождения всех его этапов
Шаги	1. Начать тестирование 2. Пропустить/не заполнить любой из тестов (VAS, DN4, CSI, HADS) 3. Завершить тестирование и перейти к результатам
Ожидаемый результат	Все тесты обязательны к прохождению
Фактический результат	Можно завершить без прохождения любого из тестов
Влияние	Некорректная аналитика, неполная информация о состоянии пациента, негативное влияние на постановку диагноза

Заключение. Таким образом, было проведено ручное функциональное тестирование медицинского веб-приложения, предназначенного для автоматизации работы врача с пациентами и проведения медицинских диагностических тестов.

Результаты тестирования показали, что система содержит ряд как существенных, так и не существенных дефектов. К числу наиболее критичных проблем относятся отсутствие строгой валидации входных данных, возможность создания некорректных записей, нарушение последовательности выполнения обязательных сценариев (в частности, прохождения тестов), нехватка функциональности (возможности сбросить фильтры, восстановить пароль), некорректные переходы по гиперссылкам. Кроме этого, были выявлены дефекты, непосредственно связанные с пользовательским интерфейсом: недостаточная информативность системных сообщений, отсутствие единообразного отображения ошибок, некорректная работа отдельных элементов интерфейса.

Проведенное исследование показало, что программное средство требует доработки. В первую очередь, рекомендуется реализовать строгую серверную валидацию данных и доработать механизмы прохождения тестов. Необходимо, чтобы был пройден каждый тест перед расчетом итоговой оценки состояния пациента. Затем необходимо обеспечить корректную обработку ошибок, включая отображение понятных информационных сообщений, унифицировать пользовательский интерфейс, добавить функциональность, которая значительно влияет на удобство использования программного средства (такие функции, как «Восстановление пароля», «Сброс фильтров» и др.), и реализовать корректную навигацию и перенаправления между функциональными модулями приложения.

Проведенная работа подтверждает эффективность использования ручного тестирования на основе тест-кейсов для выявления критических дефектов и оценки качества программных средств на ранних этапах их развития.

Список литературы

1. Ручное тестирование программного обеспечения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://apptask.ru/blog/rucnoe-testirovanie-programmnogo-obespeceniia – Дата доступа: 27.03.2026.

UDC 004.415.53:616.1

TESTING OF A SOFTWARE SYSTEM FOR THE DIAGNOSIS AND CORRECTION OF POST-STROKE PAIN SYNDROME

Shumskaya Y.P, Kushner A.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Kosareva E.M. –master of tech. sciences, assistant of the department of ICSD

Annotation. The functioning of a software tool for the diagnosis and correction of post-stroke pain syndrome has been experimentally investigated. The system is designed to automate patient management processes, perform medical tests (VAS, DN4, CSI, HADS), and generate diagnostic conclusions and treatment recommendations. More than 60 test cases covering key user scenarios were executed, including user registration and authentication, patient management, medical testing, and access control. The percentage of successfully passed test cases was 75%. It was established that the most significant impact on system reliability is caused by defects leading to the creation of incorrect data and violations in the sequence of mandatory testing scenarios. Recommendations for improving the software tool are proposed, including strengthening server-side validation, refining business logic, unifying the user interface, and ensuring correct navigation and redirection between functional components of the system

Keywords: medicine, post-stroke pain syndrome, manual testing, test cases, business logic, REST architecture, medical automation

УДК 004:37.018.43

ПОВЫШЕНИЕ ВОВЛЕЧЁННОСТИ И УДЕРЖАНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ В ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЯХ

Мосендз А.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Хацкевич Г.А.– д.э.н., профессор, профессор кафедры ЭИ

Аннотация. В условиях растущей потребности повышать мотивацию и удержание пользователей в цифровом обучении рассматриваются комбинированные подходы. В статье анализируются теоретические основы геймификации и персонализации обучения, выявляются их сильные стороны и ограничения при отдельном применении. Предлагается концептуальная модель интеграции игровых механик с адаптивным обучением, в которой динамические игровые стимулы соотносятся с индивидуальным прогрессом пользователя. Описаны архитектура и ключевые компоненты модели, включая механизмы персонализации, контекстного дизайна игровых стимулов и интеграционные механизмы. Отмечается, что синергия геймификации и персонализации должна усиливать вовлечённость и удержание, компенсируя недостатки каждого подхода. Рассмотрены ожидаемые эффекты, практические рекомендации и ограничения предложенной модели.

Ключевые слова: геймификация, персонализация обучения, адаптивное обучение, удержание пользователей, вовлечённость, цифровые образовательные приложения, адаптивная геймификация, игровые механики, мотивация, интеграционная модель

Введение. Низкая вовлечённость пользователей в цифровые образовательные системы является серьёзной проблемой: глобальный уровень вовлечённости составляет лишь 21 % [1]. По оценке агентства Smart Ranking, общий объём российского рынка LMS в 2024 году превысил 7,2 млрд рублей [2]. В этих условиях качество проектирования программ обучения становится ключевым фактором повышения вовлечённости и удержания пользователей.

В литературе геймификация и персонализация считаются перспективными подходами. Однако каждый из этих инструментов по отдельности имеет ограничения: универсальные игровые решения часто не учитывают разные типы пользователей, а стандартные программы обучения могут не отражать уникальные потребности каждого пользователя [5]. В связи с этим в статье предлагается интегративная концепция: адаптивная геймификация – модель, объединяющая динамическую геймификацию с адаптивным обучением.

В рамках предлагаемой модели игровые стимулы генерируются и подстраиваются на основе поведения и прогресса конкретного пользователя. Такая интеграция должна повысить мотивацию и удержание пользователей, компенсируя недостатки каждого подхода [11]. В статье представлены описание архитектуры предложенной модели и её ключевых компонентов, практические рекомендации и прогнозы эффективности.

Основная часть. Геймификация – применение игровых приёмов и элементов в нерыночных контекстах – направлена на повышение вовлечённости пользователей [4]. При правильно спроектированной геймификации участники обретают ощущение мастерства, компетентности и увлечённости процессом (flow) [5]. Исследования подтверждают, что геймификация значимо повышает удержание знаний и учебные результаты пользователей [11].

С точки зрения теорий мотивации, геймификация подкрепляет фундаментальные психологические потребности человека. SDT (Теория самоопределения Деси и Райана) выделяет три базовые потребности: автономию, компетентность и сопричастность [6]. Грамотно выстроенная геймификация позволяет удовлетворять эти потребности: система очков и уровней укрепляет ощущение компетентности, задания с выбором ветки обучения – автономию, а совместные квесты – социальную сопричастность. Модель типов игроков Бартла

показывает, что разным обучающимся требуются разные стимулы [7], поэтому игровая система должна учитывать эти различия, иначе унифицированная геймификация рискует потерять эффективность [8].

Однако исследования отмечают ограничения геймификации: эффект часто краткосрочен, если игровые элементы не адаптированы к контексту и личности пользователя, а перенасыщение внешними мотиваторами может отвлекать от учебных целей [4][12]. Следовательно, необходима адаптивная геймификация, когда игра подстраивается под индивидуальные характеристики обучающегося [8]. Эта идея лежит в основе предлагаемой концепции.

Персонализация обучения – это адаптация учебного процесса под уникальные характеристики каждого пользователя. Адаптивные технологии обучения способны в реальном времени изменять содержание, уровень и темп материала в зависимости от текущих потребностей ученика, что повышает эффективность усвоения.

Обзор 69 исследований показывает, что персонализированное адаптивное обучение приводило к улучшению академической успеваемости в 59 % случаев, а в 36 % – к повышению вовлечённости обучающихся [9]. Внедрение рекомендательных механизмов повышает завершение курсов и активность пользователей: после внедрения такой системы 91 % сотрудников прошли тренинги [10].

Тем не менее, персонализация имеет ограничения: требует значительных ресурсов на сбор и обработку данных, возможны риски неправильных рекомендаций, а интеграция с геймификацией усложняет архитектуру приложения [9]. Эти ограничения важно учитывать при проектировании.

Современные исследования отмечают тренд синергетического объединения геймификации и персонализации – когда игровые механики адаптируются к индивидуальному прогрессу и потребностям обучающегося. Такая адаптивная геймификация обеспечивает более сильный эффект, чем раздельное применение методов. Вопервых, играя на сильных мотивационных сторонах пользователя, система стимулирует его вовлечённость и желание действовать (например, зарабатывать очки и прохождение уровней). Вовторых, в момент ослабления интереса персонализация подстраивает сложность и формат материала, не допуская фрустрации. Комбинация этих подходов даёт эффект «непрерывного прогресса»: по мере обучения пользователь видит, что достижение игровых целей и образовательных результатов идут «рука об руку», что поддерживает его мотивацию[11].

На практике это означает, что система геймификации принимает решения на основе данных персонализации. Например, на начальных этапах обучения новичкам могут выдавать повышенные «приветственные» очки для быстрого достижения первого уровня (стимул продолжать), а продвинутые пользователи получат более сложные вызовы. Матрица игровых контекстов строится с учётом профиля пользователя: для «социализаторов» особенно важны групповые квесты и командные соревнования, для «исследователей» – побочные миссии и скрытые достижения. Таким образом, предлагаемый подход учитывает психологию разных обучающихся и образовательные цели одновременно.

По предварительным оценкам, интеграция геймификации и персонализации должна привести к значительному росту ключевых показателей: повышению вовлечённости, запоминания материала и удовлетворённости обучением. Например, в описанном эксперименте из JIK (2024) геймификация уже усилила сохранение знаний и результативность обучения[1]. С учётом добавления персонализации можно ожидать дальнейшего усиления таких эффектов, поскольку игра станет осмысленной частью индивидуального учебного плана каждого пользователя.

Предлагаемая архитектура интегрированной модели включает три ключевых компонента: модуль персонализации, модуль геймификации и интеграционный слой. Ниже приведена их функция в системе.

Модуль персонализации (User Profiling): собирает данные о поведении и прогрессе каждого пользователя – результаты тестов, время на задачах, ответы и т.д. На основе этой

информации строится динамический пользовательский профиль. Алгоритмы машинного обучения анализируют пробелы в знаниях и цели обучения и формируют индивидуальную программу. Система адаптивно выбирает темы и задания нужной сложности, предлагает дополнительные пояснения в слабых областях, а также рекомендует курсы по интересам пользователя. Эти механизмы реализуют контекстную адаптацию содержимого и гибкие учебные траектории [9].

Модуль геймификации (Game Design Engine): отвечает за построение игровых стимулов и их динамическое изменение. На этом уровне определяется состав игровых элементов (очки опыта, значки, уровни, лидерборды, сюжеты) и правил их начисления. При этом алгоритм учитывает профиль пользователя: какие игровые мотиваторы для него наиболее важны. Модуль генерирует задания и сюжеты (квесты) в соответствии с учебными вехами, создавая видимый прогресс (например, герой проходит уровни, когда пользователь осваивает темы). При реализации используются кластеры игровых элементов: направление деятельности (достижения, очки за выполнение задач), социальные элементы (общие задачи, рейтинги, совместные действия), персональные мотивации (личные цели, аватары, разблокируемый контент) [8].

Интеграционный слой (Integration Layer): обеспечивает связку между LMS (обучающей платформой) и игровыми модулями. Он синхронизирует события обучения и геймификации: например, при успешном завершении урока система передачи данных уведомляет игровую логику о новых очках или достижениях. Этот слой контролирует общий прогресс, следит за выполнением геймифицированных условий и при необходимости корректирует пользовательский профиль. Важная задача – обеспечить консистентность метрик (например, количество изученных уроков соответствует уровню в игре). Интеграционный интерфейс также управляет безопасностью и конфиденциальностью данных пользователей, которые используются для персонализации.

Таблица 4.1 – компоненты системы и их функции

Компонент системы	**Функции**
Модуль персонализации	Анализ результатов тестов, построение профиля, подбор контента по индивидуальным потребностям, формирование адаптивных траекторий обучения.
Модуль геймификации	Создание и управление игровыми элементами (очки, уровни, значки), генерация квестов и челленджей в соответствии с прогрессом, мотивирование через сюжеты и соревнования.
Интеграционный слой	Обмен данными между LMS и игровой платформой, синхронизация прогресса обучения и игровых достижений, объединение метрик, обеспечение безопасности.

Архитектура позволяет в реальном времени соединять обучение и игру. По мере прохождения дистанционного курса происходит событиелог (например, тест сдан, пройдён модуль), которое поступает на интеграционный слой. Тот обновляет персональный профиль и передаёт информацию в модуль геймификации: формируется соответствующее игровое событие (например, повышение уровня). Одновременно модуль персонализации решает, какие следующие учебные задания предложить пользователю. В результате обучение становится «игрой» с адаптивной подстройкой.

Ожидается, что интеграция геймификации и персонализации приведёт к значительному росту мотивации и удержанию пользователей в обучающих приложениях. По аналогии с исследованиями в образовании, можно прогнозировать улучшение усвоения знаний, повышение успешности прохождения курсов и большей концентрации внимания [11][9]. Внутренние эксперименты показывают: геймифицированные курсы усиливают вовлечённость и положительно влияют на отношение к обучению [11][12]. А адаптивные механизмы дополнительно увеличивают образовательную эффективность, поскольку поддерживают внимание и помогают ученикам продвигаться в своём темпе [9][10]. Вместе эти эффекты

должны обеспечить более высокий процент завершённых программ и лучшую интеграцию знаний в практическую деятельность.

При этом необходимо учитывать ограничения. Вопервых, технически интегрированная система сложна и может требовать значительных ресурсов на разработку и внедрение [9]. Затраты связаны с созданием качественного контента, аналитической инфраструктуры и поддержкой алгоритмов ИИ. Вовторых, эффективность решения напрямую зависит от качества исходных данных: неполные или неточные пользовательские профили могут приводить к ошибочным персональным рекомендациям. Также возможна «усталость» от игрового контента, если механика будет слишком навязчивой или несоответствующей цели обучения[4]. Наконец, существует риск увеличения разрыва между технически подкованными и менее опытными пользователями, если система не адаптируется под разные группы пользователей. Успешность внедрения во многом зависит от грамотного проектирования и оценки результатов.

Для эффективной реализации интегрированной модели рекомендуется:

1 Чёткое выравнивание с бизнесцелями. Перед внедрением нужно определить ключевые показатели (KPI) обучения: повышение производительности, снижение ошибок, удержание персонала и т.п. Игровые механики и адаптация контента должны служить этим целям. Например, если задача – улучшить освоение новых продуктов, геймификация может поощрять изучение соответствующих модулей достижениями и бонусами.

2 Сегментация аудитории и поэтапное тестирование. Целесообразно начать с пилотных групп разных профилей (новичков и опытных, разных возрастных групп и уровней подготовки) и отрегулировать систему под их потребности. Разные группы могут предъявлять разные требования к интерфейсу и темпам обучения. Постепенное расширение системы позволит выявить «узкие места» и скорректировать механику без больших потерь.

3 Гибкая настройка игровых элементов. Не стоит добавлять много элементов сразу – это может перегрузить пользователя. Лучше динамически «включать» новые стимулы (например, новые уровни или командные миссии) по мере роста навыков пользователей. Управление такими настройками должно быть централизованным и доступным администраторам платформы.

4 Использование аналитики и обратной связи. Важно регулярно анализировать метрики вовлечённости и успеваемости: например, сравнивать группу с геймификацией и контрольную без неё. Обратная связь от пользователей также поможет улучшать модель. При снижении активности нужно оперативно вмешиваться – скорректировать сложность задач, сменить формат подачи.

5 Обеспечение безопасности и прозрачности. Поскольку система опирается на персональные данные, необходимо соблюдать законы о защите информации. Пользователи должны знать, какие данные собираются и как они влияют на обучение. Прозрачность увеличивает доверие к системе и принятию персонализации.

Заключение. В статье рассмотрен подход к повышению удержания пользователей в дистанционных обучающих приложениях через интеграцию геймификации и персонализации. Проанализированы теоретические основы обоих методов (игровые мотиваторы, психологические потребности, адаптивное обучение) и показано, что их комбинация – адаптивная геймификация – потенциально преодолевает ограничения каждого подхода в отдельности [11]. Предложена концептуальная архитектура системы, включающая модули персонализации и геймификации, интегрированные на уровне данных и бизнеслогики. Ожидается, что применение такой модели в цифровой образовательной среде повысит мотивацию сотрудников, улучшит результаты обучения и снизит текучесть кадров. При этом требуются тщательная настройка и учёт особенностей целевой аудитории.

Список литературы

1. Gallup. State of the Global Workplace 2025 [Электронный ресурс]. – 2025. – Режим доступа: https://www.gallup.com/workplace/349484/stateoftheglobalworkplace.aspx. – Дата доступа: 19.02.2026.

2. Лебедев, П. Стали известны лидеры российского рынка LMS для корпоративного обучения [Электронный ресурс] / П. Лебедев // Skillbox Media. – 2025. – Режим доступа: https://skillbox.ru/media/corptrain/staliizvestnylideryrossiyskogorynkalmsdlyakorporativnogoobucheniya/. – Дата доступа: 19.02.2026.

3. Чигинцева, А. А. Актуальные проблемы дистанционного обучения / А. А. Чигинцева // Скиф. – 2018. – № 3 (19). – С. 10–13.

4. Gamification (GF) – What is Gamification? [Электронный ресурс] // Interaction Design Foundation. – Режим доступа: https://www.interactiondesign.org/literature/topics/gamification. – Дата доступа: 19.02.2026.

5. Hamari, J. Does gamification work? A literature review of empirical studies on gamification / J. Hamari, J. Koivisto, H. Sarsa // Proc. 47th Hawaii International Conference on System Sciences. – 2014. – P. 3025–3034.

6. Ryan, R. M. SelfDetermination Theory and the Facilitation of Intrinsic Motivation, Social Development, and WellBeing / R. M. Ryan, E. L. Deci // American Psychologist. – 2000. – Vol. 55, No 1. – P. 68–78. – Режим доступа: https://selfdeterminationtheory.org/SDT/documents/2000_RyanDeci_SDT.pdf. – Дата доступа: 19.02.2026.

7. Bartle taxonomy of player types [Электронный ресурс] // Wikipedia. – Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Bartle_taxonomy_of_player_types. – Дата доступа: 19.02.2026.

8. Hong, Y. Approaches and game elements used to tailor digital gamification for learning: a systematic literature review [Электронный ресурс] / Y. Hong, N. Saab, W. Admiraal // Computers & Education. – 2024. – Режим доступа: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131524000149. – Дата доступа: 19.02.2026.

9. du Plooy, E. Personalized adaptive learning in higher education: a scoping review of key characteristics and impact on academic performance and engagement [Электронный ресурс] / E. du Plooy, D. Casteleijn, D. Franzsen // Heliyon. – 2024. – Vol. 10, No 21. – e39630. – Режим доступа: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844024156617. – Дата доступа: 19.02.2026.

10. Исследования показали, как корпоративное обучение влияет на вовлечённость персонала и бизнеспоказатели [Электронный ресурс] // Комсомольская правда – Челябинск. – 2023. – 20 апр. – Режим доступа: https://www.chel.kp.ru/daily/27498/4758224/. – Дата доступа: 19.02.2026.

11. Capatina, A. Leveling up in corporate training: Unveiling the power of gamification to enhance knowledge retention, knowledge sharing and job performance [Электронный ресурс] / A. Capatina, D. JuarezVaron, A. Micu, A. E. Micu // Journal of Innovation & Knowledge. – 2024. – Vol. 9, No 3. – Статья 100530. – Режим доступа: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2444569X24000696. – Дата доступа: 19.02.2026.

12. Khoshnoodifar, M. Effectiveness of Gamification in Enhancing Learning and Attitudes: A Study of Statistics Education for Health School Students [Электронный ресурс] / M. Khoshnoodifar, A. Ashouri, M. Taheri // J Adv Med Educ Prof. – 2023. – Vol. 11, No 4. – P. 230–239. – Режим доступа: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10611935/. – Дата доступа: 19.02.2026.

UDC 004:37.018.43

ENHANCING USER ENGAGEMENT AND RETENTION IN DIGITAL EDUCATIONAL APPLICATIONS

Mosenz A.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Khatskevich G.A. – Dr. of Sci.(Econ.), Professor, Professor of the Department of Economic Informatics

Annotation. In the context of the growing need to increase motivation and user retention in digital learning, combined approaches are considered. The article analyzes the theoretical foundations of gamification and learning personalization, identifies their strengths and limitations when applied separately. A conceptual model for integrating game mechanics with adaptive learning is proposed, in which dynamic game incentives are correlated with individual user progress. The architecture and key components of the model are described, including personalization mechanisms, contextual design of game incentives, and integration mechanisms. It is noted that the synergy of gamification and personalization should enhance engagement and retention, compensating for the shortcomings of each approach. Expected effects, practical recommendations, and limitations of the proposed model are discussed.

Keywords: gamification, learning personalization, adaptive learning, user retention, engagement, digital educational applications, adaptive gamification, game mechanics, motivation, integration model

УДК 330.43:004.8

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕЛЕЙ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ И АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ ВВП РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Полонников А. Д.

Академия управления при Президенте Республики Беларусь, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Шабанович Р. А. – магистр технических наук

Аннотация. В работе проведён сравнительный анализ эффективности классических эконометрических моделей и алгоритмов машинного обучения при прогнозировании темпов роста валового внутреннего продукта Республики Беларусь. Эмпирическая база исследования включает квартальные макроэкономические показатели за период 2005–2024 гг. Оценка качества моделей осуществлялась с использованием метрик MAPE и RMSE. Установлено, что алгоритмы машинного обучения, в частности LASSO-регрессия, обеспечивают более высокую точность прогнозирования по сравнению с моделями ARIMA и VAR. Обоснована целесообразность применения гибридного подхода в макроэкономическом прогнозировании.

Ключевые слова: машинное обучение, эконометрика, ВВП, наукастинг, временные ряды, LASSO, Random Forest.

Введение. В современных условиях точность краткосрочного прогнозирования валового внутреннего продукта приобретает критическое значение, поскольку на её основе формируются решения в области государственной экономической политики. В связи с этим свою актуальность приобретают методы наукастинга, позволяющие оперативно оценивать текущую динамику макроэкономических показателей. Для решения данной задачи применяются модели временных рядов, такие как ARIMA и VAR. Однако их использование ограничено необходимостью соблюдения статистических предпосылок и недостаточной способностью учитывать нелинейные зависимости.

Основная часть. В рамках исследования была сформирована выборка квартальных макроэкономических показателей Республики Беларусь за период с 2005 по 2024 гг., включающая 80 наблюдений. В качестве переменных использовались темпы прироста реального ВВП, индекс потребительских цен, инвестиции в основной капитал, показатели экспорта и импорта, уровень заработной платы и ставка рефинансирования. Данные были разделены на обучающую и тестовую выборки в соотношении 70% и 30% соответственно.

Для анализа были использованы следующие модели: ARIMA как базовая модель временного ряда, VAR как многомерная модель, учитывающая взаимосвязь макроэкономических показателей, LASSO-регрессия как метод регуляризации с автоматическим отбором признаков, а также алгоритм Random Forest, позволяющий учитывать нелинейные зависимости. Оценка качества прогнозов осуществлялась с использованием метрик средней абсолютной процентной ошибки (MAPE) и среднеквадратичной ошибки (RMSE).

В результате проведённого анализа установлено, что классические модели обеспечивают удовлетворительное качество прогнозирования, однако уступают алгоритмам машинного обучения. Модель ARIMA демонстрирует наибольшую ошибку, что обусловлено эффектом лагового запаздывания. Модель VAR показывает более высокую точность за счёт учёта взаимосвязей между переменными, однако также уступает ML-методам.

Наилучшие результаты получены при использовании LASSO-регрессии, которая позволила минимизировать значения ошибок за счёт отбора наиболее значимых факторов. В модели были выделены ключевые переменные, включая экспорт, инвестиции, инфляцию и ставку рефинансирования, что отражает структурные особенности экономики Республики

Беларусь. Алгоритм Random Forest также показал высокую точность, однако уступил LASSO, что может быть связано с ограниченным объёмом выборки и склонностью к переобучению.

Установлено, что алгоритмы машинного обучения обладают важным преимуществом – отсутствием выраженного лагового эффекта, что обеспечивает более адекватную реакцию на изменения экономической динамики. Вместе с тем их использование осложняется более низкой интерпретируемостью и необходимостью дополнительных методов объяснения результатов.

Заключение. В ходе исследования установлено, что алгоритмы машинного обучения превосходят классические эконометрические модели по точности краткосрочного прогнозирования ВВП Республики Беларусь. Наиболее эффективной моделью является LASSO-регрессия, обеспечивающая оптимальный баланс между точностью и устойчивостью результатов. В связи с этим целесообразно применение гибридных подходов, сочетающих преимущества эконометрических методов и алгоритмов машинного обучения. Практическая значимость работы заключается в возможности использования полученных результатов для совершенствования системы макроэкономического прогнозирования и повышения эффективности управленческих решений.

Список литературы

1. Алгоритмы машинного обучения для краткосрочного прогнозирования темпов прироста реального ВВП. – Москва : ЕФСР, 2024.

2. Наукастинг ВВП: от традиционных моделей к методам машинного обучения. – Москва : ЕФСР, 2025.

3. Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс].

4. Macroeconomic and Labor Market Drivers of AI Adoption in Europe: A Machine Learning and Panel Data Approach // Economies. – 2025. – Vol. 13, No. 8. – Art. 226. – DOI: 10.3390/economies13080226.

5. Olarte-Libreros M.M., Rojas-Mora J.E., Guerrero-Sierra H.F., Niño C., De la Peña N. Effects of International Shocks on Cocoa Global Production // Economies. – 2025. – Vol. 13, No. 2. – Art. 48. – DOI: 10.3390/economies13020048.

6. Kim H.H., Lee N.K. State-Dependent Phillips Curve // Economies. – 2025. – Vol. 13, No. 1. – Art. 14. – DOI: 10.3390/economies13010014.

7. Gava E., Seabela M., Ogujiuba K. The Effect of Trade Openness on Environmental Quality in SACU Countries: The CS-ARDL Approach // Economies. – 2025. – Vol. 13, No. 8. – Art. 233.

UDC 330.43:004.8

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF TIME SERIES MODELS AND MACHINE LEARNING ALGORITHMS IN FORECASTING THE GDP OF THE REPUBLIC OF BELARUS

Polonnikov A. D.

Academy of Public Administration under the President of the Republic of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

Shabanovich R.A. – Master of Sci.

Annotation. The paper presents a comparative analysis of the effectiveness of classical econometric models and machine learning algorithms in forecasting the growth rate of the gross domestic product of the Republic of Belarus. The empirical basis of the study includes quarterly macroeconomic indicators for the period 2005–2024. The forecasting performance was evaluated using standard metrics, namely Mean Absolute Percentage Error (MAPE) and Root Mean Squared Error (RMSE). The results show that machine learning algorithms, in particular LASSO regression, provide higher forecasting accuracy compared to ARIMA and VAR models. The feasibility of applying a hybrid approach to macroeconomic forecasting is substantiated.

Keywords: machine learning, econometrics, GDP, nowcasting, time series, LASSO, Random Forest.

УДК 004.8

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЕБ-ИНТЕРФЕЙСА ДЛЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С LLM-АГЕНТАМИ: ПАТТЕРНЫ, ПРОБЛЕМЫ, РЕШЕНИЯ

В. В. Иванов

Академия Управления при Президенте Республики Белаврусь, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Шабанович Р. А. – магистр технических наук

Аннотация. Исследована специфика проектирования веб-интерфейсов для взаимодействия пользователей с агентами на базе больших языковых моделей (LLM). Установлено, что фундаментальными проблемами таких систем являются непредсказуемость генеративных ответов, сложность формулирования запросов и потеря контекста диалога. Предложены подходы к их решению, включающие разработку адаптивных паттернов управления диалогом, систем подсказок и визуальных средств для контекстного контроля.

Ключевые слова: веб-интерфейс, LLM-агенты, большие языковые модели, диалоговые системы, UX/UI, пользовательский опыт, управление контекстом, когнитивная нагрузка, человеко-компьютерное взаимодействие.

Введение. Развитие технологий искусственного интеллекта, в частности больших языковых моделей (Large Language Models, LLM), привело к появлению новых классов программных систем, которые ориентированы на взаимодействие с пользователем посредством естественного языка. Такие системы находят применение в образовательных, аналитических и сервисных приложениях, где счёт взаимодействия с пользователем осуществляется через диалог. При этом ключевым элементом является веб-интерфейс, через который пользователи взаимодействуют с моделью через текстовые или голосовые запросы. В отличие от классических веб-интерфейсов, где взаимодействие основано на фиксированных элементах управления, интерфейсы для LLM требуют поддержки диалоговых взаимодействий, управления контекстом и адаптации под непредсказуемые ответы модели. Эти особенности диктуют необходимость изучения специфики проектирования таких интерфейсов, выявления связанных проблем и разработки подходов, которые повышают удобство и эффективность взаимодействия пользователя с интеллектуальными агентами.

Основная часть. Веб-интерфейс представляет собой совокупность взаимосвязанных элементов, которые обеспечивают визуальное и функциональное посредничество между пользователем и системой через браузер и сетевой протокол HTTP. Понятие веб-интерфейса и его роль в организациях взаимодействия пользователей с цифровыми системами является общеизвестным в исследованиях по человеко-компьютерному взаимодействию. Проектирование интерфейсов опирается на концепции UX (User Experience) и UI (User Interface), которые направлены на обеспечение удобства использования, логичности структуры и визуальной понятности. UX-дизайн исследует способы удовлетворения потребностей пользователя и общий опыт взаимодействия с продуктом, а UI-дизайн фокусируется на визуальных и интерактивных аспектах элементов интерфейса. Эти области проектирования основываются на методах исследования пользователя, тестировании и итеративном улучшении дизайна, что позволяет адаптировать интерфейсы под реальные задачи и поведение пользователя, снижая когнитивную нагрузку и повышая общее качество взаимодействия. В широком обзоре интеллектуальных пользовательских интерфейсов отмечается, что именно сочетание качественного UX и UI является ключевым фактором успешного взаимодействия человека и цифровых систем.

Интерфейсы для взаимодействия с LLM-агентами отличаются от классических веб-интерфейсов своей ориентацией на диалог. Пользователь формулирует запросы на естественном языке, а система генерирует ответы на основе анализа контекста и модели знаний, что требует специфической поддержки диалогового взаимодействия и управления

контекстом. В научной литературе по UX в диалоговых системах подчёркиваются дополнительные проблемы, связанные с неопределённостью генеративных ответов, неспецифичностью запросов пользователя и сложностями в измерении качества пользовательского опыта. Недостаточная прозрачность алгоритмов и отсутствие адаптивных визуальных элементов может привести к затруднениям в понимании результата генерации, так как пользователи не всегда осознают, на каких данных основано предиктивное поведение модели. В работах, посвящённых проектированию интерфейсов LLM-систем, отмечается необходимость разработки решений для гибкого управления контекстом диалога, улучшения механизмов контроля со стороны пользователя и адаптивной визуализации ответов, которые учитывают динамику изменений в ходе взаимодействия.

Проектирование интерфейсов для LLM-агентов сопряжено с несколькими фундаментальными проблемами. Первая из них – непредсказуемость генеративного поведения модели, что требует обеспечения возможности пользователю уточнять запросы и повторно формулировать вопросы. В рамках UX-исследований диалоговых систем отмечается, что неопределённость ответов может привести к неудовлетворённости взаимодействием, если пользователь не получает явной обратной связи о том, как система интерпретировала запрос. Вторая проблема – управление контекстом диалога, поскольку качество ответов LLM часто зависит от того, как долго и в каком объёме сохраняется история взаимодействия. Проекты, посвящённые анализу поведения пользователей с LLM-интерфейсами, подчёркивают важность визуальных средств управления историей диалога и явных индикаторов состояния модели. Ещё одна проблема – сложность формулирования запросов пользователем, что делает интерфейс менее доступным для неопытных пользователей; этому аспекту посвящены исследования UX диалоговых систем, показывающие, что адаптация интерфейса под шаблоны типичных запросов и подсказки могут снижать нагрузку на пользователя. Подходы к решению этих проблем включают разработку адаптивных паттернов управления диалогом, визуальных средств для контекстного контроля и систем подсказок, ориентированных на облегчение формулировки запросов.

Практическое проектирование интерфейсов для LLM-агентов требует интеграции принципов UX/UI и специфических особенностей диалогового взаимодействия. Эффективный интерфейс должен обеспечивать не только визуальную и функциональную организацию элементов, но и механизмы контроля диалога, позволяющие пользователю видеть историю запросов, корректировать предшествующие формулировки и получать ясную обратную связь о логике генерации модели. Подобный подход снижает когнитивную нагрузку, поскольку пользователю становится очевидно, какая часть взаимодействия осуществляется за счёт автоматических предсказаний модели, а какая – за счёт собственных действий. Исследования, посвящённые UX диалоговых систем, подчёркивают, что методы, позволяющие пользователю видеть и управлять состоянием контекста, повышают общую удовлетворённость взаимодействием и улучшают точность интерпретации результатов. Таким образом, практические рекомендации по проектированию интерфейсов для LLM-агентов основываются на принципах прозрачности, адаптивности и ориентированности на задачи пользователя.

Важным аспектом проектирования является формирование доверия к системе через механизмы объяснимого ИИ (Explainable AI). Интерфейс должен предоставлять визуальные маркеры уверенности модели и ссылки на первоисточники. Внедрение интерактивных подсказок и функций верификации фактов минимизирует риски некритичного восприятия пользователем «галлюцинаций» алгоритма, превращая простой чат в безопасную аналитическую среду.

Кроме того, наблюдается тенденция перехода от классических диалоговых окон к комплексным рабочим пространствам (workspaces). В них диалог с LLM-агентом интегрируется с интерактивными панелями и редакторами, позволяя закреплять сгенерированные артефакты для ручной доработки. Такая пространственная организация

эффективно снижает когнитивную нагрузку. Параллельное внедрение мультимодальности (работа с файлами, голосовой ввод) требует создания гибкой модульной сетки, динамически перестраивающейся под текущий тип медиаконтента. Развитие концепции генеративного интерфейса (Generative UI) позволяет системе не просто выводить текст, но и на лету создавать интерактивные элементы управления – графики, таблицы или формы ввода – непосредственно в процессе диалога. Это стирает границу между контентом и интерфейсом, требуя от разработчиков внедрения принципиально новых паттернов микро-взаимодействий. Важную роль также играет внедрение механизмов непрерывного улучшения интерфейса на основе анализа пользовательской телеметрии. Сбор и обработка анонимизированных данных о паттернах взаимодействия, таких как частота использования подсказок или характер корректирующих запросов, позволяют объективно оценивать эффективность UX-решений. Кроме того, архитектура должна предусматривать строгие меры информационной безопасности, визуально предупреждая пользователя о рисках передачи конфиденциальных данных в модель.

Заключение. Проектирование веб-интерфейсов для взаимодействия с LLM-агентами требует глубокого учёта особенностей диалоговой природы взаимодействия, особенностей генерации ответов и принципов UX/UI. Интерфейсы должны обеспечивать визуальную и функциональную прозрачность, поддержку управления контекстом и механизмы корректировки запросов. Дальнейшие исследования могут быть направлены на разработку новых методов оценки UX в диалоговых системах, создание адаптивных интерфейсов и интеграцию мультимодальных элементов взаимодействия, что будет способствовать более широкому распространению и использованию LLM-технологий.

Список литературы

1. Купер, А. Интерфейс. Основы проектирования взаимодействия / А. Купер, Р. Рейман, Д. Кронин, К. Носсел. – 4-е изд. – СПб. : Питер, 2017. – 720 с. – ISBN 978-5-4461-0303-4.

2. Раскин, Дж. Интерфейс: новые направления в проектировании компьютерных систем / Дж. Раскин. – СПб. : Символ-Плюс, 2010. – 272 с.

3. Guidelines for Human-AI Interaction / S. Amershi [et al.] // Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. – 2019. – P. 1–13.

4. Nielsen, J. AI: First New UI Paradigm in 60 Years [Electronic resource] / J. Nielsen // Nielsen Norman Group. – 2023. – Mode of access: [https://www.nngroup.com/articles/ai-paradigm/] (https://www.nngroup.com/articles/ai-paradigm/). – Date of access: 27.03.2026.

UDC 004.8

DESIGNING A WEB INTERFACE FOR INTERACTING WITH LLM AGENTS: PATTERNS, PROBLEMS, SOLUTIONS

B. B. Иванов

Academy of Public Administration under the President of the Republic of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

R. A. Shabanovich - Master of Sci.

Annotation. The specifics of designing web interfaces for user interaction with large language model (LLM) based agents are investigated. It is established that the fundamental problems of such systems are the unpredictability of generative responses, the complexity of formulating queries, and the loss of dialogue context. Approaches to their solution are proposed, including the development of adaptive dialogue management patterns, prompting systems, and visual tools for contextual control.

Keywords: web interface, LLM agents, large language models, dialogue systems, UX/UI, user experience, context management, cognitive load, human-computer interaction.

УДК 621.3.049.77–048.24:537.2

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УСТОЙЧИВОСТИ ЛИЧНОГО БЮДЖЕТА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ДОХОДОВ И ИНФЛЯЦИИ

Прескурел Я.Ю.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Алексеев В.Ф. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. В работе предлагается математическая модель устойчивости личного бюджета с учетом динамики доходов и инфляции. Формализуется критерий устойчивости, проводится анализ параметров модели и рассматриваются условия финансового равновесия. Полученные результаты могут быть использованы при разработке алгоритмов управления личными финансами.

Ключевые слова: математическое моделирование, информационные системы, финансовые потоки, алгоритмы управления, оптимизация, дискретные модели, прогнозирование, анализ данных, риск-менеджмент, моделирование процессов, поддержка принятия решений

Введение. При работе с личными финансами достаточно быстро становится понятно, что даже при стабильном уровне дохода бюджет может со временем терять устойчивость. Основная причина этого – не только изменение самих доходов, но и рост расходов, связанный с инфляцией. На практике это проявляется в том, что привычная структура затрат перестаёт «укладываться» в доход, хотя формально уровень жизни не менялся.

Попытки управлять бюджетом интуитивно или с опорой на простые правила (например, фиксированное распределение дохода) не всегда дают устойчивый результат, поскольку не учитывают динамику изменения ключевых параметров. В частности, различие темпов роста доходов и цен со временем приводит к накоплению дисбаланса, который становится заметен только на более длинных временных интервалах.

В этой связи возникает необходимость формализовать процесс изменения личного бюджета и описать его с помощью математической модели. Такой подход позволяет не только зафиксировать текущую ситуацию, но и оценить, как она будет развиваться при различных сценариях – например, при замедлении роста доходов или ускорении инфляции.

В данной работе рассматривается модель, в которой доходы и расходы задаются как функции времени с учётом их темпов изменения. Основное внимание уделяется условию, при котором бюджет сохраняет устойчивость, то есть остаётся неотрицательным на рассматриваемом интервале времени. Кроме того, анализируется влияние соотношения темпов роста доходов и инфляции на долгосрочное финансовое состояние.

Целью работы является построение математической модели устойчивости личного бюджета и получение аналитического критерия, позволяющего оценить границы финансовой стабильности. Полученные результаты могут быть использованы для более обоснованного планирования расходов и принятия решений в рамках управления личными финансами.

Основная часть. Построение модели устойчивости личного бюджета целесообразно начинать с формализации базовых финансовых потоков [1]. В рамках рассматриваемого подхода бюджет понимается как разность между доходами и расходами за определённый период времени [2]. При этом важно учитывать, что оба этих показателя не являются постоянными величинами и изменяются во времени под воздействием различных факторов.

Доход в простейшем случае можно рассматривать как величину, изменяющуюся с некоторым средним темпом роста [3]. Это может быть связано с карьерным развитием, индексацией заработной платы или дополнительными источниками дохода. Однако на практике рост доходов, как правило, не является равномерным и может носить скачкообразный или нестабильный характер. Несмотря на это, для построения базовой модели

допустимо использовать сглаженное представление, отражающее общий тренд изменения дохода.

Расходная часть бюджета, в отличие от доходной, более чувствительна к внешним экономическим условиям. Основным фактором, влияющим на её динамику, является инфляция, приводящая к постепенному увеличению стоимости товаров и услуг. Даже при сохранении прежнего уровня потребления фактические расходы со временем возрастают, что создаёт дополнительную нагрузку на бюджет.

Ключевой задачей в рамках модели является определение условия, при котором бюджет остаётся устойчивым. Под устойчивостью в данном случае понимается ситуация, при которой доходы на каждом шаге времени не меньше расходов. Это условие позволяет избежать дефицита бюджета и, как следствие, необходимости использования заемных средств или сокращения накоплений.

Для формализации указанного условия вводится базовое соотношение между доходами и расходами:

$$Bt=It-Et \quad (1)$$

Если значение бюджета остаётся неотрицательным на протяжении всего рассматриваемого периода, система считается устойчивой. В противном случае возникает дефицит, который при длительном сохранении может привести к полной потере финансовой стабильности.

Дальнейший анализ показывает, что решающим фактором является не столько абсолютный уровень доходов и расходов, сколько их относительная динамика. Если доходы растут быстрее, чем расходы, то даже при изначально неблагоприятном соотношении со временем возможно достижение устойчивого состояния. Обратная ситуация, при которой расходы увеличиваются быстрее доходов, неизбежно приводит к ухудшению финансового положения.

Особый интерес представляет случай, когда темпы роста доходов и расходов близки друг к другу. В этом случае система находится в пограничном состоянии, при котором даже незначительные изменения внешних условий могут привести к переходу от устойчивости к дефициту или наоборот. С практической точки зрения это означает, что такие финансовые системы являются наиболее уязвимыми и требуют более тщательного контроля.

Анализ динамики бюджета во времени позволяет выявить ещё одну важную характеристику – момент потери устойчивости. Даже если на начальном этапе бюджет является профицитным, при неблагоприятном соотношении темпов роста доходов и расходов со временем может наступить момент, когда расходы начнут превышать доходы. Определение этого момента имеет важное практическое значение, поскольку позволяет заранее принять меры по корректировке финансового поведения.

Для более полного описания финансового состояния целесообразно учитывать не только текущий баланс, но и накопленные средства. Введение показателя накоплений позволяет оценить способность системы компенсировать временные дефициты. Даже при кратковременном превышении расходов над доходами наличие накоплений может сохранить общую устойчивость бюджета.

В рамках модели накопления можно рассматривать как результат последовательного суммирования текущих бюджетных результатов. Если на протяжении длительного периода бюджет остаётся положительным, формируется запас финансовой прочности. В противном случае происходит постепенное истощение ресурсов, что увеличивает финансовые риски.

Дополнительное усложнение модели связано с учётом неопределённости. В реальных условиях доходы не являются строго детерминированными и могут изменяться под влиянием случайных факторов, таких как потеря работы, изменение условий занятости или непредвиденные расходы. Включение случайной компоненты в модель позволяет перейти от детерминированного описания к вероятностному анализу [4].

В этом случае устойчивость бюджета можно интерпретировать как вероятность того, что доходы не окажутся ниже расходов на заданном временном интервале. Такой подход позволяет оценивать финансовые риски более гибко и учитывать различные сценарии развития событий.

С практической точки зрения предложенная модель может использоваться как инструмент поддержки принятия решений. На её основе возможно:

– оценивать допустимый уровень текущих расходов;

– прогнозировать последствия изменения доходов;

– анализировать влияние инфляции на финансовое состояние;

– определять необходимость формирования резервов.

Кроме того, модель может быть интегрирована в информационные системы управления личными финансами [5]. В этом случае она выступает в качестве вычислительного ядра, позволяющего автоматически оценивать устойчивость бюджета при изменении входных параметров.

Таким образом, даже при относительно простой структуре модель позволяет получить содержательные выводы о поведении финансовой системы во времени. Основной результат заключается в том, что устойчивость личного бюджета определяется балансом между темпами роста доходов и расходов, а также наличием финансовых резервов.

Список литературы

1. Kasami T., Tokura N., Ivadari E., Inagaki Ya. (2006) Coding Theory. Transl. from Japan by A.V. Kuznetsov. Moscow, Mir Publ. 571.

2. Losev V. V., Brodskaya E. B., Korzhik V. I. (1988) Search and Decoding of Complex Discrete Signals. Moscow, Radio and Communication Publ.

3. Sze S. M., Lee M. K. (2012) Semiconductor Devices: Physics and Technology. New York, John Wiley & Sons Singapore Pte. Limited.

4. Dostanko A. P., et al. (2020) Innovative Technologies and Equipment of Submicron Electronics. Minsk, Belar. Navuka. 260 p.

5. Penialosa D. I., et al. (2021) Electromagnetic Radiation Shielding Composite Coatings Based on Powdered Alumina and Iron Oxides. Doklady BGUIR. 19(3), 104–109. DOI: 10.35596/1729-7648-2021-19-3-104-109.

UDC 621.3.049.77–048.24:537.2

MATHEMATICAL MODEL OF PERSONAL BUDGET SUSTAINABILITY UNDER CHANGES IN INCOME AND INFLATION

Preskurel Y.Y.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Alekseev V.F. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. This paper proposes a mathematical model for assessing the sustainability of a personal budget, taking into account the dynamics of income and inflation. A formal criterion of financial sustainability is developed, and the influence of key parameters on the stability of the budget is analyzed. The study focuses on the relationship between income growth and inflation rates as the main factors determining long-term financial balance. The results obtained can be applied in the development of decision-support algorithms in personal finance management systems and for improving financial planning strategies.

Keywords: mathematical modeling, personal budget, financial sustainability, inflation, income and expenses, financial flow dynamics, budget optimization, economic and mathematical methods, forecasting, risk management, discrete models, financial management

УДК 621.3.049.77–048.24:537.2

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИНАНСОВЫХ РЕЗЕРВОВ И ПОДУШКА БЕЗОПАСНОСТИ: КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА РИСКА

Прескурел Я.Ю.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Алексеев В.Ф. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. В работе рассматривается подход к оценке финансовых резервов и формированию подушки безопасности для личного бюджета. Разрабатывается методика количественной оценки риска дефицита бюджета с учётом изменения доходов и расходов, а также непредвиденных финансовых событий. Предложенные методы позволяют анализировать способность домохозяйства справляться с временными финансовыми трудностями и определять необходимый размер резервов для поддержания устойчивости бюджета. Практическая значимость заключается в возможности использования модели для планирования накоплений и снижения риска неплатежеспособности.

Ключевые слова: финансовые резервы, подушка безопасности, личный бюджет, риск дефицита, управление финансами, прогнозирование расходов, финансовая устойчивость

Введение. Управление личными финансами требует не только планирования доходов и расходов, но и прогнозирования возможных рисков, связанных с дефицитом бюджета. Доходы человека могут изменяться в зависимости от карьерного роста, сезонных выплат, премий или непредвиденных обстоятельств, таких как потеря работы или временное снижение заработка. Расходы, в свою очередь, также подвержены случайным событиям, включая непредвиденные покупки, ремонт бытовой техники, медицинские расходы и форс-мажоры, что делает управление финансами более сложным [1].

В таких условиях финансовая устойчивость домохозяйства напрямую зависит от наличия резервных средств – так называемой подушки безопасности. Подушка безопасности позволяет покрывать временные дефициты бюджета, снижать финансовые риски и поддерживать привычный уровень жизни даже при снижении доходов или увеличении расходов.

Для оценки эффективности подушки безопасности важно использовать количественные методы, которые позволяют прогнозировать возможные дефициты бюджета и определять необходимые размеры резервов. Такие методы дают возможность анализировать влияние сезонности доходов, случайных расходов и колебаний финансовых потоков на устойчивость бюджета. Введение количественной модели подушки безопасности позволяет:

– прогнозировать дефицит бюджета на определённый период;

– анализировать влияние случайных расходов и колебаний доходов;

– определять минимальный необходимый размер резервов для сохранения финансовой устойчивости;

– формировать рекомендации по накоплениям и инвестициям с учётом риска неплатежеспособности.

В данной работе предлагается модель, которая сочетает дискретный подход к учёту доходов и расходов с вероятностной оценкой риска. Такой подход позволяет домохозяйству заранее планировать накопления, оценивать вероятность дефицита бюджета и принимать решения о формировании резервов с учётом возможных непредвиденных событий.

Практическая ценность исследования заключается в предоставлении инструментов, которые могут быть использованы как индивидуально для планирования личного бюджета, так и в приложениях для поддержки принятия решений в информационных системах управления личными финансами. Введение таких моделей способствует повышению

финансовой грамотности, пониманию собственных возможностей и ограничений, а также формированию устойчивых финансовых привычек.

Основная часть. Финансовая подушка безопасности – это резервные накопления, предназначенные для покрытия временного дефицита бюджета и обеспечения финансовой устойчивости домохозяйства.

Для построения модели выделяются два основных потока: доходы и расходы. Доходы могут включать заработную плату, премии, дивиденды, доходы от подработок или инвестиций. Расходы разделяются на регулярные и случайные. Регулярные расходы включают коммунальные услуги, питание, транспорт и ежемесячные обязательные платежи. Случайные расходы появляются внезапно и могут иметь значительную величину, например, ремонт бытовой техники, медицинские услуги, затраты на образование детей, неожиданные штрафы и другие форс-мажорные ситуации [1].

В модели используется дискретное представление бюджета. Каждый месяц фиксируется разница между доходами и расходами, а накопления на конец месяца рассчитываются как сумма предыдущих резервов и текущей разницы. Анализируя несколько сценариев, можно оценить, как резервы будут меняться при различных вариантах доходов и расходов, включая неблагоприятные случаи.

Особое внимание уделяется неопределённости финансовых потоков. Даже при среднем положительном балансе доходов над расходами существует вероятность дефицита. Оценка риска дефицита позволяет рассчитывать вероятность того, что бюджет останется положительным на заданный период времени. Такой подход учитывает сезонность доходов, колебания премий, непредвиденные траты и изменение жизненных условий семьи [2].

Для практического применения модели важно определить минимальный размер подушки безопасности, который позволит домохозяйству покрывать временный дефицит без ущерба для привычного уровня жизни. Рассмотрим пример: ежемесячный доход семьи составляет 2000 рублей, регулярные расходы – 1800 рублей. Включая возможные случайные траты до 540 рублей, рекомендуется формировать резерв в размере 3300–3700 рублей. Такой резерв позволяет покрыть несколько месяцев непредвиденных расходов и сохранять финансовую устойчивость при временной потере дохода или увеличении расходов [3].

Помимо оценки минимального резерва, модель позволяет проводить анализ сценариев. Например, можно рассмотреть:

– уменьшение дохода на 10–15% в течение нескольких месяцев;

– внезапное увеличение расходов на 20%;

– сочетание нескольких неблагоприятных факторов одновременно.

Результаты анализа позволяют домохозяйству корректировать расходы, распределять накопления более рационально и принимать решения о временном сокращении необязательных трат.

Применение модели также возможно для информационных систем управления личными финансами. Современные приложения могут автоматически учитывать доходы и расходы, прогнозировать возможные дефициты, визуализировать динамику резерва и давать рекомендации по формированию подушки безопасности [4].

Таким образом, предложенный подход позволяет:

– оценивать достаточность текущих накоплений;

– прогнозировать последствия случайных расходов и колебаний доходов;

– определять оптимальный размер подушки безопасности;

– интегрировать модель в информационные системы для автоматической оценки риска и повышения финансовой грамотности [5].

Модель проста в реализации, не требует сложных вычислений и может быть адаптирована под конкретные условия семьи. Она демонстрирует, что даже простая количественная оценка резервов позволяет значительно снизить риск финансового дефицита, повысить уверенность домохозяйства в своей финансовой устойчивости и спланировать долгосрочные накопления. Кроме того, использование модели дает возможность выявить

структурные проблемы в распределении расходов: например, если часть регулярных трат превышает разумный процент от дохода, это можно скорректировать заранее, не доводя до критических ситуаций.

Дальнейшее применение модели может включать сравнение различных стратегий накоплений и инвестиций, что позволяет оценить, какая комбинация инструментов лучше всего подходит для конкретного домохозяйства с учетом его финансовых целей и уровня дохода. Это особенно актуально для семей, планирующих крупные расходы, такие как покупка жилья, автомобиль, образование детей или долгосрочные инвестиции, где ошибки в управлении резервами могут иметь значительные последствия.

Модель также подходит для разных категорий населения: молодых специалистов, начинающих карьеру, семей с детьми, домохозяйств с нестабильным доходом и пенсионеров. Для каждой категории можно задавать индивидуальные параметры: уровень дохода, средние и максимальные расходы, вероятные случайные траты и желаемый период покрытия дефицита. Это делает подход универсальным инструментом финансового планирования, который можно применять как в индивидуальном порядке, так и в рамках образовательных программ по финансовой грамотности.

Наконец, интеграция модели в информационные системы управления личными финансами позволяет автоматизировать расчёты, отслеживать динамику резервов в реальном времени и своевременно предупреждать о рисках дефицита бюджета. Это существенно снижает стресс, связанный с финансовыми трудностями, повышает дисциплину в ведении бюджета и помогает формировать долгосрочные привычки разумного расходования и накопления средств. В итоге даже минимальные усилия по планированию резервов, основанные на количественной модели, могут обеспечить значительное улучшение финансового состояния семьи, повысить устойчивость к экономическим колебаниям и повысить уровень уверенности в завтрашнем дне.

Список литературы

1. Kasami T., Tokura N., Ivadari E., Inagaki Ya. (2006) Coding Theory. Transl. from Japan by A.V. Kuznetsov. Moscow, Mir Publ. 571.

2. Losev V. V., Brodskaya E. B., Korzhik V. I. (1988) Search and Decoding of Complex Discrete Signals. Moscow, Radio and Communication Publ.

3. Sze S. M., Lee M. K. (2012) Semiconductor Devices: Physics and Technology. New York, John Wiley & Sons Singapore Pte. Limited.

4. Dostanko A. P., et al. (2020) Innovative Technologies and Equipment of Submicron Electronics. Minsk, Belar. Navuka. 260 p.

5. Penialosa D. I., et al. (2021) Electromagnetic Radiation Shielding Composite Coatings Based on Powdered Alumina and Iron Oxides. Doklady BGUIR. 19(3), 104–109. DOI: 10.35596/1729-7648-2021-19-3-104-109.

UDC 621.3.049.77–048.24:537.2

MODELING FINANCIAL RESERVES AND SAFETY CUSHION: QUANTITATIVE RISK ASSESSMENT

Preskurel Y.Y.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Alekseev V.F. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. This paper considers an approach to assessing financial reserves and creating a safety cushion for a personal budget. A methodology for quantitative risk assessment of budget deficits is developed, taking into account changes in income, expenses, and unforeseen financial events. The proposed methods allow analyzing a household's ability to cope with temporary financial difficulties and determining the required reserve size to maintain budget stability. The practical significance lies in applying the model for savings planning and reducing the risk of insolvency.

Keywords: financial reserves, safety cushion, personal budget, deficit risk, financial management, expense forecasting, budget stability

УДК 004.9:332.8

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО РЕАЛИЗАЦИИ РЕШЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ИНВЕСТИЦИОННОЙ КРИПТОПЛАТФОРМОЙ

Приходько Н.Н.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Лихачевский Д.В. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. Разработано программное средство для управления инвестиционной криптоплатформой, обеспечивающее автоматизацию учета транзакций и мониторинга инвестиционного портфеля. Решение реализовано на основе распределённой архитектуры с использованием REST-сервисов, что обеспечивает масштабируемость и интеграцию с внешними сервисами. Описаны архитектура системы и принцип работы основного алгоритма.

Ключевые слова: криптоплатформа, управление инвестициями, криптовалюта, REST API, распределённая архитектура, программное средство.

Введение. В соответствии с утверждённой государственной программой «Цифровая Беларусь» на 2026–2030 годы, приоритетным направлением развития Республики Беларусь является повышение уровня цифровизации финансово-экономической сферы и внедрение современных информационных технологий в процессы управления цифровыми активами [1]. Активное развитие рынка криптовалют и инвестиционных цифровых платформ сопровождается ростом объёмов транзакций и усложнением процессов управления инвестиционными портфелями. Существующие решения зачастую характеризуются недостаточной прозрачностью и высокой долей ручных операций, что повышает вероятность ошибок и снижает эффективность принятия инвестиционных решений. В связи с этим актуальной является разработка программного средства для управления инвестиционной криптоплатформой, обеспечивающего централизованный учет операций, мониторинг состояния инвестиционного портфеля и повышение эффективности управления цифровыми активами [2].

Основная часть. Для достижения поставленной цели была спроектирована распределённая система, состоящая из серверной части и клиентского приложения. Такой подход обеспечивает независимость логики обработки и хранения данных от их визуального представления, а также повышает гибкость и масштабируемость решения.

Система построена на основе REST-архитектуры, предусматривающей чёткое разделение на клиентскую и серверную части. Серверная часть реализует бизнес-логику управления инвестиционной криптоплатформой, включая обработку транзакций, учет операций с цифровыми активами и взаимодействие с базой данных. Обмен данными между компонентами осуществляется с использованием REST API в формате JSON. Клиентская часть отвечает за формирование пользовательского интерфейса, отображение информации о состоянии инвестиционного портфеля и инициирование запросов к серверу [3].

Таким образом, общий алгоритм функционирования программного средства при обработке инвестиционных транзакций пользователя (выполнение операций с цифровыми активами и обновление состояния портфеля) можно представить следующим образом (рисунок 1).

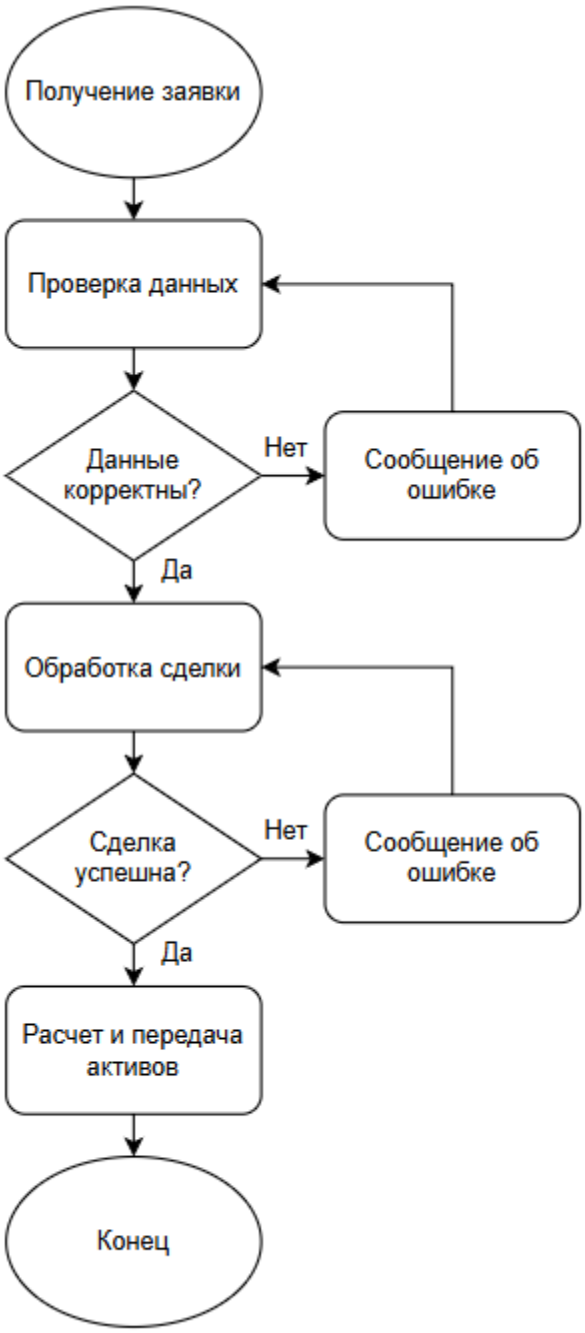


Рисунок 1 – Общий алгоритм обработки инвестиционных транзакций пользователя

Для оценки надежности системы при обработке большого количества одновременных транзакций использовалась методика расчета вероятности безотказной работы по формуле 1:

$$Р_{безотк}=\exp(-\lambda \cdot t)\cdot 100\% \quad (1)$$

где λ – интенсивность поступления новых транзакций;

t – среднее время обработки одной транзакции, с.

Применение данной формулы позволяет прогнозировать устойчивость платформы в периоды высокой активности пользователей. Экспериментальные данные показали, что при интенсивности поступления λ=0,015 и среднем времени обработки одной транзакции t=80 с, вероятность безотказной обработки запросов сохраняется на уровне 98,8 %. Основным узким местом системы является модуль валидации и согласования транзакций, производительность

которого напрямую зависит от сложности операций с цифровыми активами и доступной вычислительной мощности серверной части.

Заключение. Выполнен анализ процессов обработки и управления транзакциями пользователей на инвестиционной криптоплатформе. Установлено, что применение распределённой клиент-серверной архитектуры на основе REST API обеспечивает высокую отказоустойчивость системы при одновременной обработке большого числа операций. Предварительная проверка корректности данных на стороне клиентского приложения снижает нагрузку на сервер и предотвращает ошибки при внесении транзакций в базу цифровых активов.

Разработан алгоритм функционирования программного средства, обеспечивающий стабильную и безопасную обработку операций пользователей. Использование платформы позволяет существенно сократить время выполнения типовых действий с инвестиционным портфелем (покупка, продажа или перевод цифровых активов). Система обеспечивает высокий уровень безопасности данных за счёт шифрования и токенизации и соответствует действующему законодательству Республики Беларусь о защите персональных данных.

Список литературы

1. Цифровая Беларусь. Какие задачи планируется решить за следующие пять лет? [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://pravo.by/novosti/obshchestvenno-politicheskie-i-v-oblasti-prava/2025/december/91694/. Дата доступа: 06.03.2026.

2. Храмов, Ю. В. Основы технологии блокчейн и криптовалют для менеджеров : учебное пособие / Ю. В. Храмов – Казань : Изд-во КНИТУ, 2021. – 160 с.

3. RESTful Web API. Паттерны и практики / М. Амундсен – Астана: «Спринт Бук», 2025. – 464 с.

4. ГОСТ ISO/IEC 12207-2010. Информационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств. Минск: Госстандарт, 2011.

UDC 004.9:332.8

A SOFTWARE SOLUTION FOR MANAGING AN INVESTMENT CRYPTO PLATFORM

Pryhodko N.N.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Likhachevsky D.V. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. A software tool has been developed for managing the investment cryptoplatform, which provides automation of transaction accounting and monitoring of the investment portfolio. The solution is implemented based on a distributed architecture using REST services, which ensures scalability and integration with external services. The architecture of the system and the principle of operation of the main algorithm are described.

Keywords: cryptoplatform, investment management, cryptocurrency, REST API, distributed architecture, software tool.

УДК 621.3.049.77–048.24:537.2

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ТУННЕЛЕЙ ВЕНТУРИ НА ПРИЖИМНУЮ СИЛУ БОЛИДА ФОРМУЛЫ 1

Химич Ф.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Ларькин А.Д. – ассистент кафедры ПИКС

Аннотация. В статье рассматриваются физические механизмы генерации прижимной силы в болидах Формулы 1 через использование туннелей Вентури. На основе уравнений Бернулли и неразрывности потока проводится анализ влияние геометрии каналов на перепад давления. Рассмотрены оптимальные углы схождения и расхождения потока, взаимодействие с пограничным слоем и влияние турбулентного следа колес.

Ключевые слова: аэродинамика, прижимная сила, эффект Вентури, граунд-эффект, уравнение Бернулли, диффузор.

Введение. Основная цель аэродинамики гоночного болида – максимизация прижимной силы (downforce) для увеличения сцепления с трассой, при одновременной минимизации сопротивления воздуха на прямых [1]. За счет увеличения прижимной силы возрастает скорость во время прохождения поворотов благодаря улучшению сцепления резины с трассой. Одним из наиболее эффективных методов достижения этой цели является «эффект земли» (ground effect). «Эффект земли» основан на ускорении потока под днищем болида, что создает зону низкого давления [3]. Физическая аналогия данного процесса наблюдается у птиц, которые летят низко над водой: близость поверхности мешает воздуху хаотично растекаться, что увеличивает эффективность крыла [1].

Основная часть. Работа современных туннелей Вентури в Формуле 1 описывается законами механики жидкости. При движении воздуха через сужающийся канал (горловину туннеля) его скорость должна возрастать, для выполнения уравнения неразрывности:

$$Q=V_1 \cdot A_1=V_2 \cdot A_2 \quad (1)$$

где Q – объемный расход, A – площадь поперечного сечения трубки Вентуре, V – скорость потока [2].

Согласно принципу Бернулли, для несжимаемого потока (которым считается воздух на скоростях движения болида) рост кинетической энергии сопровождается падением статического давления [1]:

$$P_1 - P_2 = \rho_2 \cdot V_2 - V_{12} \quad (2)$$

где ρ – плотность воздуха [2].

Разность давлений между атмосферой над болидом и разреженным воздухом в туннелях Вентури порождает прижимную силу. Эффективность этого процесса оценивается коэффициентом давления Cp. В зоне максимального сужения туннеля Cp принимает наиболее низкие отрицательные значения, что свидетельствует о пике прижимной силы [1].

Форма туннеля критически важна для предотвращения отрыва потока. Для эффективной работы системы профиль днища разделен на три функциональные зоны, которые формируют полноценный туннель Вентури:

1 Входная часть (приемник): располагается за передними колесами, благодаря этому осуществляется забор воздуха под днище.

2 Горловина (узкая часть): критическая точка в районе кокпита, где минимальный зазор между днищем и трассой обеспечивает пиковую скорость потока и максимальное разрежение.

3 Диффузор (расширяющаяся часть): область в задней части болида, где происходит контролируемое замедление потока и восстановление давления, что создает эффект

«вытягивания» воздуха из-под всей машины. Конструкция позволяет генерировать прижимную силу с наименьшим лобовым сопротивлением, а форма туннеля критически важна для предотвращения отрыва потока. Исследования показывают, что использование плавных обводов трубы Вентури более эффективно, чем резкие сужения. Коэффициент расхода для Вентури составляет около 0,98, для обычных отверстий до 0,6 [2].

Численное моделирование устанавливает, что для минимизации потерь давления и предотвращения турбулентности оптимальный угол схождения в передней части туннеля должен составлять 18°, а угол расхождения в области диффузора – 6° [2].

Эффективность туннелей Вентури сильно зависит от состояния пограничного слоя – тонкого слоя воздуха, замедляющегося трением о трассу и днище [1]. При слишком малом дорожном просвете пограничные слои смыкаются, вызывая резкую потерю прижимной силы и «дельфинирование» (автоколебания корпуса) [3]. Важен и «грязный воздух» от передних колёс: вращаясь, шина выталкивает турбулентные потоки в стороны, и при попадании в туннели эффективность граунд-эффекта резко падает [3]. Для изоляции туннелей инженеры используют направляющие пластины (strakes) как «воздушные занавески» [3, 4].

Свобода инженеров в проектировании ограничивается регламентом FIA (Federation Internationale de l'Automobile) для обеспечения безопасности. Согласно правилам 2026 года, вся геометрия под днищем должна быть заключена в справочный объем RV-FLOOR-BODY [4]. Важнейший элемент - контрольная планка (Plank) толщиной 10 мм ± 0,2 мм, которая устанавливается вдоль центральной оси [4]. Планка ограничивает минимальный клиренс. В ходе гонки из-за трения об асфальт планка может стираться, если она сотрется более чем на 1 мм, болид будет дисквалифицирован [4]. Это вынуждает команды делать выбор между максимальным разрежением в туннелях и риском контакта планки с трассой.

Заключение. Туннели Вентури один из мощных инструментов управления аэродинамикой. Угол в 18° в передней части туннеля и угол в 6° в области диффузора, а также контроль пограничного слоя позволяют достигать высокой прижимной силы [2]. Высокая чувствительность системы и регламент ставят перед инженерами задачу максимально точной настройки подвески, чтобы стабилизировать воздушные потоки под днищем [3, 4].

Список литературы

1. Katz, J. Race Car Aerodynamics: Designing for Speed / J. Katz. – Bentley Publishers, 1995. – 300 p.

2. Singhal, A. Air Flow Optimization via a Venturi Type Air Restrictor / A. Singhal, M. Parveen // Proceedings of the World Congress on Engineering 2013 Vol III. – London, U.K., 2013.

3. Newey, A. How to Build a Car: The Autobiography of the World's Greatest Formula 1 Designer / A. Newey. – HarperCollins Publishers, 2017. – 400 p.

4. FIA 2026 Formula 1 Technical Regulations (Issue 8). – Fédération Internationale de l'Automobile, 2024. – 207 p.

UDC 621.3.049.77–048.24:537.2

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE SHAPE OF VENTURI TUNNELS ON THE DOWNFORCE OF A FORMULA 1 CAR

Khimich F.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Larkin A.D. – Assistant Professor of the PICS Department

Annotation. The article examines the physical mechanisms of downforce generation in Formula 1 cars through the use of Venturi tunnels. Based on the Bernoulli and continuity equations, the influence of the channel geometry on the pressure drop is analyzed. Optimal flow convergence and divergence angles, interaction with the boundary layer, and the influence of the turbulent wheel wake are considered.

Keywords: aerodynamics, downforce, Venturi effect, ground effect, Bernoulli's equation, diffuser, pressure coefficient.

УДК 004.9:332.8

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО РЕАЛИЗАЦИИ RPA-РЕШЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ДОГОВОРАМИ

Кузнецов Е.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Лихачевский Д.В. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. В работе рассматривается вопрос автоматизации документооборота предприятия с использованием технологии RPA. Разработано программное средство, имитирующее действия оператора по извлечению данных из договоров, их валидации и внесению в учетную систему. Проведен сравнительный анализ эффективности внедрения робота по сравнению с ручным вводом. Описана архитектура решения, включающая модули OCR и логической обработки исключений.

Ключевые слова: RPA, программный робот, автоматизация бизнес-процессов, управление договорами, интеллектуальная обработка документов, OCR.

Введение. В условиях реализации государственной программы «Цифровая Беларусь» на 2026–2030 годы, приоритетной задачей для предприятий является цифровая трансформация операционных процессов [1]. Одним из наиболее трудоемких участков административной деятельности является управление договорами, включающее ручной перенос данных из сканированных копий в системы электронного документооборота. По статистике, ручная обработка одного контракта занимает от 10 до 20 минут и сопряжена с риском возникновения ошибок «человеческого фактора» в 4–7% случаев. Технология RPA помогает автоматизировать задачи без изменения существующей IT-инфраструктуры, имитируя действия человека на уровне пользовательского интерфейса.

Основная часть. Для достижения поставленной цели было спроектировано программное средство, обеспечивающее полный цикл первичной обработки договоров. Программное средства базируется на модульной архитектуре. Система разделена на три функциональных блока: блок мониторинга и захвата – робот сканирует выделенные директории или почтовые ящики на наличие новых PDF-файлов; блок распознавания и классификации – с использованием библиотек машинного зрения извлекаются ключевые реквизиты (номер договора, дата, наименование контрагента, УНП, сумма); блок интеграции – автоматический ввод данных в реестр через имитацию нажатий клавиш и навигацию по элементам управления интерфейса.

Для обеспечения отказоустойчивости использовалась система обработки исключений. Если робот не может распознать реквизит с точностью 90% и выше, задача перенаправляется сотруднику для ручной обработки. Схема функционирования алгоритма представлена на рисунке 1.

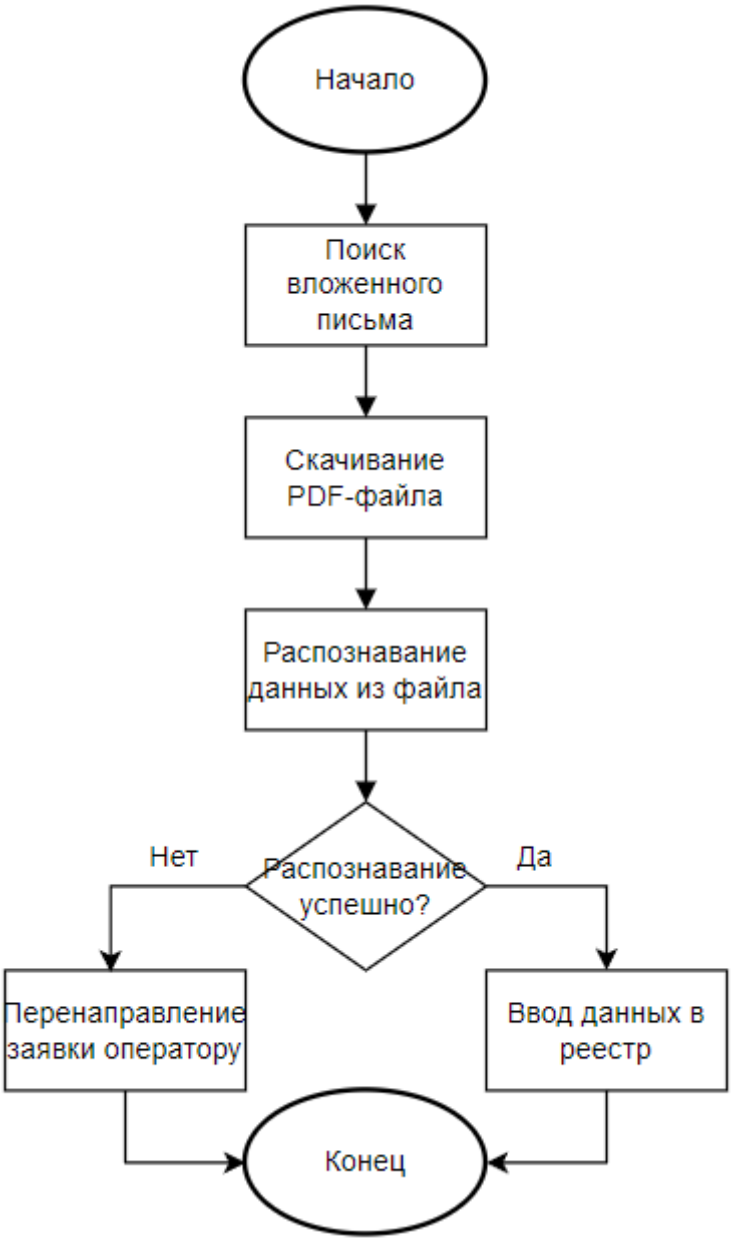


Рисунок 1 – Алгоритм работы модуля обработки данных программного средства

Для оценки эффективности работы программного средства относительно ручной обработки договоров использовался коэффициент сокращения временных затрат по формуле 1:

$$Кт=Тчел -Тробот\ Тчел \cdot 100\%, \quad (1)$$

где Тчел – среднее время ручной обработки договора (с); Тробот – среднее время обработки программным средством (с).

В ходе тестирования было установлено, что использование робота сокращает время обработки одного пакета документов с 900 секунд до 120 секунд. Коэффициент эффективности составил 86,67%.

Для оценки надежности системы при пиковых нагрузках использовалась методика расчета вероятности безотказной работы по формуле 2:

$$Рбезотк=exp(-\lambda \cdot t)\cdot 100\%, \quad (2)$$

где λ – интенсивность поступления новых документов; t – среднее время цикла обработки (с).

Применение формулы 2 позволяет спрогнозировать устойчивость системы в периоды пиковой нагрузки. Экспериментальные данные показали, что при интенсивности поступления λ = 0,02 и t = 120с, вероятность безотказной обработки запросов сохраняется на уровне 97,6%. Основным узким местом системы является модуль распознавания и классификации, производительность которого напрямую коррелирует с качеством исходных сканированных копий и доступной вычислительной мощностью сервера.

Заключение. Спроектированное программное средство реализации RPA-решения продемонстрировало оптимизацию бизнес-процессов работы с договорами в сравнении с ручной обработкой. Внедрение робота позволило сократить операционные расходы на обработку документов на 70–80% за счет высвобождения рабочего времени сотрудников на более сложные задачи, а также исключить ошибки ручного ввода данных, которые приводили к сбоям в платежных операциях и нарушению процесса документооборота.

Список литературы

1. Госпрограмма «Цифровая Беларусь» на 2026–2030 годы. Как будет формироваться экосистема цифровых решений для населения, бизнеса и государства? [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.mpt.gov.by/ru/gosprogramma-cifrovaya-belarus-na-2026-2030-gody-kak-budet-formirovatsya-ekosistema-cifrovykh. Дата доступа: 22.03.2026.

2. Макарова, Л.Ф. Основы построения систем электронного документооборота в организациях: учебно-методическое пособие / Л.Ф. Макарова. – СПб.: НИУ ИТМО, 2019. – 120 с.

3. Прохоренко, Н.Б. Проектирование ролевых моделей в системах электронного документооборота: методология и практика / Н.Б. Прохоренко // Документация и документооборот. – 2021. – № 2. – С. 43–51.

4. ГОСТ ISO/IEC 12207-2010. Информационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств. Минск: Госстандарт, 2011.

UDC 004.9:332.8

SOFTWARE TOOL FOR IMPLEMENTING AN RPA SOLUTION FOR CONTRACT MANAGEMENT

Kuznetsou Y.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Likhachevsky D.V. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. The paper discusses the issue of automating corporate document workflow using Robotic Process Automation technology. A software tool has been developed that mimics operator actions for extracting data from contracts, validating them, and entering them into the accounting system. A comparative analysis of the efficiency of robot implementation compared to manual entry was conducted. The solution architecture is described, including Optical Character Recognition and logical exception handling modules.

Keywords: RPA, software robot, business process automation, contract management, intelligent document processing, OCR.

УДК 621.317.785.5:004.9

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНТЕРАКТИВНОГО ДВОЙНОГО СЧЕТЧИКА ЭНЕРГИИ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ПОСТРОЕНИЯ ПРОФИЛЯ НАГРУЗКИ И СЕТЕВЫМ ИНТЕРФЕЙСОМ

Маякин Г.О.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научные руководители: Алексеев В.Ф. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ПИКС; Ящук В.А. – магистр, ассистент кафедры ПИКС

Аннотация. В работе рассмотрены вопросы проектирования интерактивного двойного счетчика энергии с возможностью построения профиля нагрузки и сетевым интерфейсом. В качестве аппаратной платформы используется демонстрационная плата на базе специализированного измерительного модуля, обеспечивающего измерение электрических параметров для двух независимых нагрузок с использованием шунтов и трансформаторов тока. Проанализированы основные проблемы проектирования подобных устройств, включая точность измерений, электрическую безопасность, надежность передачи данных и выбор интерфейсов связи. Предложена архитектура системы, включающая силовую часть, измерительный модуль, систему питания и интерфейсы взаимодействия с внешними устройствами. Рассмотрен пример реализации устройства и приведены особенности его работы. Показано, что применение двухканального измерения и сетевых интерфейсов позволяет повысить эффективность мониторинга и анализа энергопотребления.

Ключевые слова: счетчик энергии, профиль нагрузки, мониторинг энергопотребления, измерение мощности, трансформатор тока, USB интерфейс.

Введение. Современные методы измерения электроэнергии основаны на цифровой обработке электрических сигналов и позволяют получать не только суммарное значение потреблённой энергии, но и более детальную информацию о параметрах электрической сети. В отличие от устаревших электромеханических устройств, современные электронные счётчики реализуют измерения с использованием микропроцессорной техники, что обеспечивает более высокую точность и расширенный функционал [1].

С развитием концепции интернета вещей (IoT) возрастают требования к функциональности устройств учета и мониторинга энергопотребления. Помимо базового измерения электрических параметров, необходимо обеспечивать удалённый доступ к данным, визуализацию энергопотребления и построение профиля нагрузки, а также интеграцию в сетевую инфраструктуру. В этом контексте перспективным является использование специализированных измерительных микросхем и модулей с поддержкой цифровых интерфейсов обмена данными.

Целью данной работы является разработка и анализ архитектуры интерактивного двойного счетчика энергии с возможностью построения профиля нагрузки и сетевым интерфейсом, а также исследование особенностей его практической реализации.

Трансформация систем учета электроэнергии в условиях цифровизации энергетики. Современный этап развития электроэнергетики характеризуется масштабной трансформацией систем учета электрической энергии. Переход от традиционных индукционных счетчиков к интеллектуальным приборам учета (Smart Meters) является ключевым направлением цифровизации.

Интеллектуальные системы учета электроэнергии (ИСУЭ) решают комплекс задач, выходящих за рамки простого измерения потребленной энергии. К их функциям относятся: автоматизированный сбор и передача данных о потреблении; дистанционное управление режимами учета; мониторинг качества электроэнергии; построение профилей нагрузки потребителей; обеспечение взаимодействия с интеллектуальными сетями (Smart Grid).

Внедрение интеллектуальных счетчиков позволяет повысить точность учета, снизить коммерческие потери электроэнергии, оптимизировать нагрузочные режимы энергосистемы и создать основу для внедрения дифференцированных по времени суток тарифов, стимулирующих энергосбережение.

Республика Беларусь в рамках реализации государственной энергетической политики осуществляет масштабную модернизацию системы учета электрической энергии.

Необходимость развития функциональности приборов учета. Несмотря на активное внедрение интеллектуальных систем учета, существующие решения обладают рядом ограничений, требующих дальнейшего совершенствования:

– большинство серийно выпускаемых счетчиков предоставляют пользователю минимальный объем информации – суммарное потребление энергии за расчетный период. При этом отсутствует возможность оперативного получения данных о текущем потреблении, профиле нагрузки, временных интервалах максимального и минимального энергопотребления. Такая информация необходима не только энергоснабжающим организациям для планирования нагрузок, но и потребителям для оптимизации собственного энергопотребления;

– традиционные системы учета ориентированы на одностороннюю передачу данных от прибора учета в энергоснабжающую организацию. Интерактивное взаимодействие, позволяющее потребителю получать актуальную информацию о своем энергопотреблении в удобной форме (через мобильные приложения, веб-интерфейс или непосредственно на дисплее прибора), реализовано недостаточно широко;

– в ряде сценариев использования (объекты с собственной генерацией, системы накопления энергии, электрозарядные станции, энергоактивные дома) возникает потребность в учете как потребленной, так и отданной в сеть энергии. Двойные счетчики, фиксирующие разнонаправленные потоки энергии, становятся критически важными для обеспечения справедливых финансовых расчетов между потребителем-генератором и сетевой организацией;

– современные подходы к управлению энергопотреблением и тарифообразованию требуют детальной информации о временной структуре нагрузки. Построение профиля нагрузки позволяет: выявлять пиковые нагрузки и оценивать возможности их переноса; обосновывать выбор тарифной схемы; прогнозировать потребление для целей диспетчерского управления.

Основная часть. В основу разработки положена архитектура двухканального измерителя электрической энергии, реализованная с использованием специализированного измерительного интегрального модуля и демонстрационной платы с поддержкой подключения двух независимых нагрузок. [2].

Принципиальная схема устройства включает силовые клеммы для подключения к сети переменного напряжения 230 В и нагрузок, а также измерительные цепи напряжения и тока. Питание устройства формируется непосредственно от сети с использованием импульсного преобразователя, обеспечивающего стабилизированное напряжение порядка 12 В, которое далее понижается линейным стабилизатором до уровней 5 В и 3,3 В для питания цифровых компонентов. Для защиты от перенапряжений применяются варисторы и защитные диоды, а для подавления электромагнитных помех используются фильтрующие элементы, включая конденсаторы и дроссели.

Измерительные каналы реализованы с возможностью выбора метода измерения тока – с использованием шунтовых резисторов или трансформаторов тока, а измерение напряжения осуществляется либо напрямую через делитель, либо через понижающий трансформатор. Обработка измеренных данных выполняется встроенным измерительным модулем с последующей передачей результатов через интерфейс USB или через изолированные цифровые линии на внешние устройства, включая микроконтроллерные системы.

Проектируемая печатная плата выполнена из стеклотекстолита FR-4 толщиной 1,5 мм. Плата двухсторонняя, 3-го класса точности.

Паразитная ёмкость между проводниками определяется с учётом диэлектрической проницаемости материала основания, длины взаимного перекрытия и геометрических параметров проводников, что особенно важно для обеспечения корректной работы чувствительных измерительных и цифровых цепей. Расчёт показал, что минимальная ширина проводников для цепей питания составляет 0,214 мм, однако с учётом технологического запаса было принято значение 0,3 мм. Для сигнальных цепей выбрана ширина проводников 0,2 мм [3].

При работе устройства выделяется тепловая мощность порядка 2-3 Вт.

Расчёт показал, что перегрев корпуса составляет около 10,56 К, температура нагретой зоны достигает 55,6 °С при температуре окружающей среды 50 °С (рисунок 1).

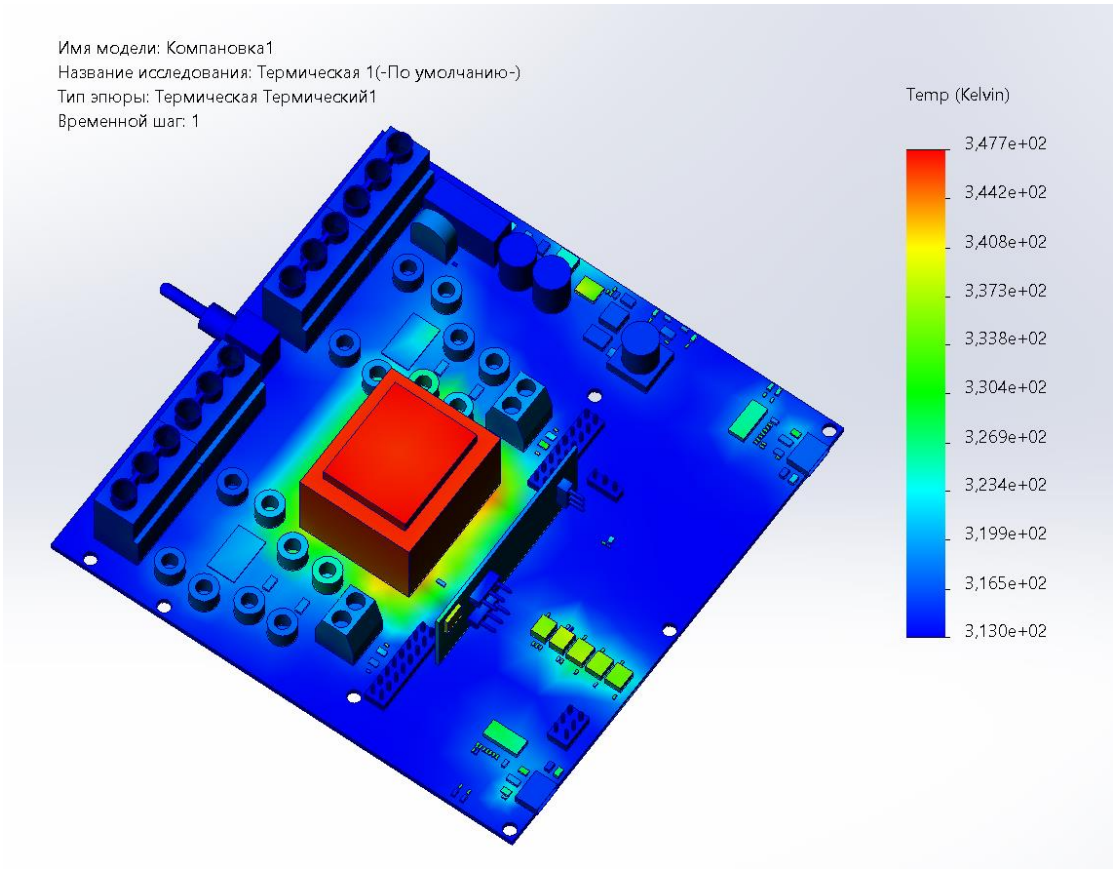


Рисунок 1 – Результат моделирования тепловых процессов в SolidWorks

Полученные значения находятся ниже допустимых температур для элементной базы, что подтверждает возможность эксплуатации устройства без применения активного охлаждения. Естественная конвекция через перфорированный корпус обеспечивает достаточный теплоотвод.

Надёжность устройства определяется суммарной интенсивностью отказов всех элементов, которая рассчитывается как сумма интенсивностей отказов отдельных компонентов с учётом их количества [4].

В результате расчёта получена средняя наработка на отказ порядка 23410 часов и вероятность безотказной работы за 1000 часов около 0,96.

Полученные значения свидетельствуют о достаточно высокой надёжности устройства и позволяют использовать его в составе систем мониторинга энергопотребления без дополнительных мер по повышению отказоустойчивости. При этом для эксплуатации в ответственных или промышленных условиях может потребоваться применение компонентов с более высокой надёжностью и проведение дополнительной оптимизации конструкции.

Разработанное устройство обеспечивает одновременный мониторинг двух нагрузок с возможностью анализа энергопотребления и построения профиля нагрузки. Использование различных методов измерения и интерфейсов связи повышает гибкость системы, а наличие гальванической развязки и защитных элементов обеспечивает безопасность и устойчивость работы при подключении к электрической сети.

Заключение. Разработан интерактивный двойной счетчик энергии с возможностью построения профиля нагрузки и сетевым интерфейсом, обеспечивающий измерение электрических параметров для двух независимых нагрузок. В ходе работы была предложена и реализована архитектура устройства, включающая силовую часть, измерительные каналы с возможностью выбора метода измерения, систему питания и интерфейсы передачи данных. Проведён анализ схемотехнических решений, а также учтены паразитные параметры печатной платы, влияющие на точность и стабильность работы устройства.

Результаты теплового расчёта показали, что температурные режимы находятся в допустимых пределах, что позволяет эксплуатировать устройство без применения активного охлаждения.

Оценка надёжности показала достаточный уровень безотказной работы, позволяющий использовать устройство в системах мониторинга энергопотребления.

Разработанное устройство обладает необходимыми функциональными возможностями, обеспечивает стабильную и безопасную работу и может быть использовано для анализа энергопотребления и построения профиля нагрузки в различных прикладных задачах.

Список литературы

1. Destro M. Energy Meter duale // Elettronica In. – 2024. – № 279 – С. 111–124.

2. Лежнев, А.В. Цифровые измерительные системы учета электроэнергии: учебное пособие / А.В. Лежнев. – Екатеринбург: УрФУ, 2010. – 88 с.

3. Основы проектирования печатных плат : учебное пособие / под ред. В. В. Кузнецова. – Москва : Машиностроение, 2018. – 256 с.

4. Методы расчёта надёжности радиоэлектронных средств : учебное пособие / под ред. Н. Н. Смирнова. – Москва : Радио и связь, 2015. – 288 с.

UDC 621.317.785.5:004.9

DESIGN OF AN INTERACTIVE DUAL ENERGY METER WITH LOAD PROFILING CAPABILITY AND NETWORK INTERFACE

Mayakin G.O.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Alexseev V.F. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD, Yashchuk V.A. – master's degree student, Assistant Professor, Department of Information and Computer Systems Design

Annotation. This work addresses the design of an interactive dual energy meter featuring load profiling capabilities and a network interface. The hardware platform utilized is a demonstration board based on a specialized measurement module, which enables the measurement of electrical parameters for two independent loads using shunts and current transformers. The key design challenges associated with such devices are analyzed, including measurement accuracy, electrical safety, data transmission reliability, and the selection of communication interfaces. A system architecture is proposed, comprising a power section, a measurement module, a power supply system, and interfaces for interaction with external devices. An example implementation of the device is presented, along with a description of its operational characteristics. It is demonstrated that the application of dual-channel measurement and network interfaces enhances the efficiency of energy consumption monitoring and analysis.

Keywords: energy meter, load profile, energy consumption monitoring, power measurement, current transformer, USB interface

УДК 621.396.6.002:621.791.3

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИФРОВОЙ ПАЯЛЬНОЙ СТАНЦИИ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПАЯЛЬНИКА ПРИ МОНТАЖЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Нестерович Е.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Алексеев В.Ф. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. В статье проводится сравнительный анализ эффективности цифровой паяльной станции с микроконтроллерным управлением и традиционного электрического паяльника. Рассматриваются особенности конструкции, точность поддержания температуры и эксплуатационные характеристики устройств. Показано преимущество цифровых систем регулирования в обеспечении качества пайки и надежности электронных компонентов.

Ключевые слова: паяльная станция, паяльник, микроконтроллер.

Введение. Пайка является одним из наиболее распространенных и критически важных технологических процессов в производстве радиоэлектронных средств (РЭС). От качества выполнения паяных соединений напрямую зависят надежность, долговечность и безотказность работы электронных устройств, поскольку именно паяные соединения представляют собой наиболее уязвимый элемент конструкции с точки зрения возникновения отказов в процессе эксплуатации [1, с. 154]. В условиях постоянного усложнения РЭС, миниатюризации компонентов и ужесточения требований к надежности проблема обеспечения высокого качества пайки приобретает особую актуальность.

В современной практике монтажа и ремонта электронной аппаратуры используются два основных типа инструментов для выполнения паяных соединений. Первый тип – традиционный электрический паяльник (рисунок 1), представляющий собой нагревательный элемент, размещенный в металлическом корпусе, с медным жалом, передающим тепло в зону пайки. Мощность такого инструмента фиксирована, температура жала определяется балансом между подводимой тепловой мощностью и теплоотводом в окружающую среду и соединяемые детали [2, с. 26].



Рисунок 1 –Внешний вид традиционного паяльника

Второй тип – цифровая паяльная станция (рисунок 2), включающая в себя блок управления с микроконтроллером, источник питания и паяльник с датчиком температуры.

Микроконтроллер непрерывно отслеживает температуру жала и регулирует мощность нагрева для поддержания заданного значения с точностью до ±5–10 °C [3, с. 44].



Рисунок 2 – Пример внешнего вида паяльной станции

Несмотря на очевидные функциональные преимущества паяльных станций (стабилизация температуры, возможность работы с различными типами компонентов, дополнительные сервисные функции), традиционные электрические паяльники остаются наиболее распространенным инструментом благодаря низкой стоимости, простоте конструкции и неприхотливости в эксплуатации [3, с. 27]. При этом в научно-технической литературе практически отсутствуют систематические исследования, посвященные количественному сравнению эффективности данных типов инструментов с точки зрения качества формируемых паяных соединений, производительности труда и надежности конечного изделия. Большинство публикаций сосредоточено на исследовании свойств припоев [4; 5; 7], вопросах усталостной прочности паяных соединений [7] или тепловых характеристиках отдельных элементов паяльного оборудования [2].

Отсутствие систематизированных данных о сравнительной эффективности цифровой паяльной станции и традиционного электрического паяльника создает проблему обоснованного выбора инструмента при организации производства или оснащении ремонтной мастерской, а также затрудняет оптимизацию технологических режимов пайки для каждого типа оборудования.

Целью исследований является экспериментальное сравнение эффективности цифровой паяльной станции и электрического паяльника при монтаже радиоэлектронных устройств на основе количественной оценки качества формируемых паяных соединений и анализа дефектности.

Основная часть. Традиционный электрический паяльник представляет собой простое устройство с нагревательным элементом мощностью 25-60 Вт и, чаще всего, медным жалом с покрытием. Температура жала формируется напрямую мощностью и теплоотдачей, поэтому при работе с массивными элементами она может снижаться на 40-60°C, а при длительном нагреве превышать 400-450°C, что существенно влияет на качество пайки и срок службы компонентов. Время выхода на рабочую температуру составляет 120-300 секунд, а точность поддержания режима ограничена ±50°C (см. рисунок 1).

Из-за отсутствия системы обратной связи увеличивается риск перегрева или недостаточного прогрева спаиваемого места, особенно при работе с чувствительными

элементами SMD. Средний ресурс жала при активной эксплуатации составляет 1-2 года, после чего появляются механические повреждения или накопление окислов, снижающих эффективность пайки.

Цифровая паяльная станция (см. рисунок 2) решает эти проблемы за счет интеграции термодатчика/термопары и микроконтроллера, управляющего мощностью нагрева через широтно-импульсную модуляцию. В современных моделях мощность жала составляет 50-80 Вт, диапазон регулирования температуры – 200-480°C, а точность поддержания заданного значения достигает ±2°C. Время выхода на рабочую температуру составляет всего 15-30 секунд, что ускоряет рабочий процесс и снижает тепловые потери. Система обратной связи мгновенно реагирует на изменение нагрузки, предотвращая перегрев жала и электронных компонентов. Кроме того, в современных паяльных станциях стоит автоматическая защита, которая ограничивают максимальную температуру и отключает питание при превышении 480°C, что повышает безопасность работы.

Чаще всего в паяльных станциях используются никелированные жала, которые в отличии от медных окисляются гораздо меньше, комфорт их использования гораздо выше, а срок службы может достигать от 3 до 5 лет. Также в паяльных станциях не редко используются дополнительные выходы для работы с внешними устройствами, такими как паяльный фен или нагревательный стол для более эффективной работы с SMD компонентами.

Для наглядности представим сравнение изделий в таблице 1:

Таблица 1 – Сравнение характеристик паяльных инструментов

Параметр	**Традиционный паяльник**	**Цифровая паяльная станция**
Мощность	25-60 Вт	50-80 Вт
Диапазон температур	200-450°C	200-480°C
Точность поддержания температуры	±50°C	±2°C
Время выхода на рабочую температуру	120-300 сек	15-30 сек
Наличие защиты от перегрева	Нет	Есть, отключение при превышении 480°C
Контроль температуры	Нет	Автоматический, с обратной связью
Ресурс жала	1-2 года при активной эксплуатации	3-5 лет при активной эксплуатации
Тип жала	Медное/ медное с покрытием	Никелированное
Дополнительный функционал	Нет	Фен, нагревающийся стол

Таким образом, цифровая паяльная станция обладает преимуществами в точности поддержания температуры, скорости выхода на режим, долговечности и безопасности, тогда как традиционный паяльник остается более простым решением для нерегулярной или бытовой пайки.

Заключение. Сравнительный анализ показал, что цифровая паяльная станция существенно превосходит традиционный паяльник по точности поддержания температуры, времени выхода на рабочий режим, долговечности и функциональности. Традиционный паяльник целесообразно использовать для простых монтажных и бытовых работ, тогда как цифровая станция необходима при работе с компонентами, чувствительными к температурным колебаниям.

Использование микроконтроллерного управления повышает качество пайки, снижает риск повреждения компонентов и улучшает условия работы пользователя.

Цифровые паяльные станции являются более перспективным направлением развития паяльного оборудования и широко применяются как в профессиональной, так и в учебной деятельности.

Список литературы

1. Тресков, Б.А. Анализ моделей усталостной прочности припоев и паяльных паст / Б.А. Тресков // Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций : материалы Всероссийской научно-технической конференции (г. Самара, 21-23 апреля 2020 г.) / Самар. нац. исслед. ун-т им. С. П. Королева ; под ред. А.И. Данилина. – Самара : ООО «Вектор», 2020. – С. 154–155.

2. Московкина, Е. Паяльник или паяльная станция: сложности выбора / Е. Московкина // Технологии в электронной промышленности. – 2015. – Т. 6. – № 82. – С. 44–45.

3. Новоселов, В. Электрический паяльник инженера Сакса. История и современность / В. Новоселов // Компьютерные технологии. – 2000. – № 3. – С. 82–85.

4. Ланин, В.Л. Модификация паяльных паст углеродными наночастицами / В.Л. Ланин, А.В. Слижёва, Д.Ю. Ковалёв // Актуальные проблемы физики, электроники и энергетики : электронный сборник статей II Международной научно-практической конференции, Новополоцк, 14 ноября 2024 г. / Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой. – Новополоцк, 2025. – С. 140–145.

5. Ковалёв, Д.Ю. Упрочнение паяных соединений в электронных модулях / Д.Ю. Ковалёв, А.В. Слижёва, В.Л. Ланин // Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций : 21-я Международная молодёжная научно-техническая конференция : сборник научных трудов, Севастополь, 6–10 октября 2025 г. / Севастопольский государственный университет. – Москва-Севастополь : РНТОРЭС им. А.С. Попова : СевГУ, 2025. – № 8. – С. 126.

6. Тресков, Б.А. Анализ моделей усталостной прочности припоев и паяльных паст / Б.А. Тресков // Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций : материалы Всероссийской научно-технической конференции (г. Самара, 21-23 апреля 2020 г.) / Самар. нац. исслед. ун-т им. С. П. Королева ; под ред. А.И. Данилина. – Самара : ООО «Вектор», 2020. – С. 154–155.

7. Штенников, В.Н. Исследование тепловых характеристик паяльных стержней / В.Н. Штенников // Метрология. – 2017. – № 2. – С. 26–30.

8. Цифровая паяльная станция [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cxem.net/mc/mc55.php

9. Микроконтроллерные системы управления [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cxem.net/mc/mc68.php

10. Все, что нужно знать о паяльных станциях [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://atten-rus.com/knowledgebase/articles/chto-takoe-payalnaya-stantsiya/

UDC 621.396.6.002:621.791.3

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF A DIGITAL SOLDERING STATION AND AN ELECTRIC SOLDERING IRON IN THE ASSEMBLY OF RADIOELECTRONIC EQUIPMENT

Nesterovich Y.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Alexeev V.F. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. This article provides a comparative analysis of the efficiency of a digital microcontroller-controlled soldering station and a traditional electric soldering iron. Design features, temperature control accuracy, and operational characteristics of the devices are discussed. The advantages of digital control systems in ensuring soldering quality and the reliability of electronic components are demonstrated.

Keywords: Soldering station, soldering iron, microcontroller.

УДК 004.942

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ПОВРЕЖДЕНИЙ ПРИ АРЕНДЕ АВТОМОБИЛЕЙ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИМОДАЛЬНОГО СРАВНЕНИЯ ФОТООТЧЁТОВ

Ничипорчик К.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Бересневич А.И. – магистр техн. наук, ст. преп кафедры ПИКС

Аннотация. В статье рассматривается идея разработки специализированной интеллектуальной подсистемы сервиса проката автомобилей, предназначенной для автоматического выявления и классификации повреждений транспортного средства по фотоотчётам арендатора. В фокусе находится не только детекция объектов повреждений на одном изображении, но и доказательная логика сравнения с последующей формализацией рекомендаций по разрешению споров. Предлагается использовать вероятностные методы оценки неопределённости модели для маршрутизации спорных кейсов к человеку-эксперту и сокращения вероятности ошибочного решения. Особое внимание уделяется сопоставлению фотоотчётов по фазам аренды, что позволяет снижать риск ложных выводов, связанных с различиями условий съёмки и фоновым износом. Результаты анализа предполагается представлять в виде структурированного заключения, пригодного для интеграции в учётные сущности поездки и повреждений в цифровом сервисе. Ожидаемый эффект внедрения – ускорение первичной обработки претензий и повышение прозрачности процедуры для арендатора при сохранении возможности ручной проверки в неоднозначных ситуациях.

Ключевые слова: аренда автомобилей, фотоотчёт, повреждения кузова, компьютерное зрение, мультимодальное сравнение «до/после», машинное обучение, оценка неопределённости, человек-в-цикле, активное обучение, разрешение споров.

Введение. В современных сервисах проката автомобилей ключевым элементом обеспечения доверия между арендодателем и арендатором является корректная фиксация состояния машины и понятная процедура обработки заявок о повреждениях. Обычно используются фотоотчёты: в начале аренды клиент предоставляет снимки ключевых зон кузова, а в конце аренды производится повторная фиксация. Далее применяется ручная проверка оператором или экспертом, что приводит к задержкам, затратам времени, субъективности и росту количества эскалаций в спорных ситуациях. При росте объёмов выдач и доли удалённых сценариев, ручная модель обработки становится узким местом, и стимулирует переход к полуавтоматизированным контурам с человеком в цикле.

Задача усложняется тем, что визуально однотипные артефакты могут возникать по причинам, не связанным с повреждениями: блики на лакокрасочном покрытии, грязь, изменения освещения, различия в угле съёмки и качестве камеры. Кроме того, в реальных эксплуатационных сценариях присутствуют элементы износа и пограничные случаи, где автоматическая система должна либо дать уверенный результат, либо распознать недостаток информации и корректно направить кейс на проверку.

Основная часть. В интеллектуальной детекции повреждений по фото и формировании структурированного результата, предлагается рассматривать фотоотчёт как набор изображений, распределённых по зонам кузова и фазам аренды. На первом этапе система должна выявлять повреждения на изображениях. Для этого применимы современные модели компьютерного зрения, обученные на данных именно по автомобильным повреждениям [1].

В отличие от универсальных детекторов, ориентированных на бытовые классы, специализированные модели используют датасеты, где разметка содержит типы повреждений: вмятины, царапины, трещины, разбитое стекло и т.п. [2]. Наличие таких датасетов и предварительно обученных моделей открывает возможность построения производственной

системы для классификации повреждений на каждом изображении и логической связки результатов между фазами [3].

Ключевая идея, заключается в следующем: система формирует карту согласованности доказательств между фазами и на её основе решает, является ли событие новым повреждением, вероятным доарендным состоянием или неоднозначным случаем. Такой подход позволяет перейти от отдельных распознаваний на снимках к целостному сценарию доказательства, который лучше согласуется с логикой в спорах о повреждениях.

Поскольку фото могут отличаться углом и освещением, система использует: метки фаз, а также привязку к зоне, оценку качества снимка, при необходимости – слабую геометрическую нормализацию, например, на основе ключевых ориентиров на кузове или принятой схемы съёмки.

Для каждой зоны система извлекает кандидатов повреждений на изображениях до и после. Далее выполняется сопоставление локальных областей по принципу совпадения: по типу повреждения, по близости или перекрытию локализаций, по устойчивости признаков.

Вместо бинарного правила на наличие повреждения вводится градуированная логика: если повреждение в зоне обнаружено после поездки, но отсутствует перед поездкой при низкой неопределённости и достаточной согласованности – статус: новое повреждение в поездке [4]. Если признаки повреждения видны и перед, и после поездки – статус: вероятное доарендное состояние. Если неопределённость высокая, например, возможны блики, грязь, низкое качество, несогласованные локализации – статус: на проверку экспертом.

Спорные кейсы автоматически отправляются оператору с подготовленным объяснимым пакетом: тип повреждения-кандидата, зона, сопоставление. Фиксация решения эксперта по таким кейсам создаёт обратную связь для последующего улучшения работы системы.

Практическая ценность решения проявляется в том, что алгоритм должен быть встроен в бизнес-поток: пользовательские фотоотчёты формируют набор изображений по фазам, бэкенд инициирует анализ по завершении загрузки или в момент окончания поездки, результаты создают структурированные записи о повреждениях и статусы, при “неоднозначности” запускается процесс экспертной проверки.

Для поддержки разрешения спора важно, чтобы решение было привязано к: конкретной поездке, конкретной зоне или фрагменту кузова, конкретному типу повреждения, статусу уверенности или неопределённости.

Итогом является не просто картинка с рамкой, а управляемый набор данных, который можно использовать для: рекомендации по ответственности, эскалации оператору, формирования прозрачного отчёта арендатору, а при необходимости – сокращённого объяснения правил.

К преимуществам системы можно отнести: сокращение времени первичной обработки претензий за счёт автоматического этапа, снижение субъективности решений благодаря формализованным правилам доказательной логики и учёту неопределённости, повышение прозрачности для арендатора за счёт единого формата отчёта о сравнении фаз, снижение нагрузки на операторов.

Ряд работ и практических проектов в индустрии показывает, что автоматическая оценка состояния автомобиля по изображениям используется в смежных задачах: страховые оценки, инспекция автопарков и мониторинг автомобилей с пробегом. Для этого применяются специализированные датасеты и модели по анализу машин, включая детекцию, вмятины, царапины, разбитое стекло [5].

В то же время публикации, в которых детекция повреждений доводится до уровня процедуры разрешения спора с доказательной логикой сравнения, оценкой неопределённости и минимизации ложных выводов. Такие публикации и открытые продуктовые внедрения описаны в меньшей степени, что обуславливает актуальность предлагаемой интеграции методов компьютерного зрения в операционный контур проката. Предлагаемый подход делает шаг от распознавания дефекта к управляемой модели принятия решения в контуре сервиса аренды.

Заключение. Разработка интеллектуальной системы автоматической классификации повреждений и поддержки разрешения споров при аренде автомобилей на основе мультимодального сравнения фотоотчётов «до/после» является перспективным направлением повышения эффективности и доверия в сервисах проката. Предложенная новизна заключается в вероятностном механизме согласованности доказательств между фазами, использовании методов оценки неопределённости для снижения риска ошибочной атрибуции и применении активного дообучения на спорных кейсах. Это позволяет ускорить обработку претензий, сократить нагрузку на операторов и повысить прозрачность процесса для арендатора, сохраняя возможность экспертного контроля в неоднозначных ситуациях.

Список литературы

1. Егенбердиев Д.Ю., Тасполат Е.А. Разработка системы обнаружения повреждений автомобиля с использованием свёрточных нейронных сетей / Д.Ю. Егенбердиев, Е.А. Тасполат // Актуальные исследования. – 2022. – № 26 (105). – С. 6–15.

2. Тарасова М., Филькин Н., Юртиков Р. Бесконтактная автоматизированная экспресс-оценка повреждений кузова автомобиля по визуальным параметрам / М. Тарасова, Н. Филькин, Р. Юртиков // НАУКА и ТЕХНИКА. – 2019. – Т. 18, № 6. – С. 471–475. – DOI: 10.21122/2227-1031-2019-18-6-471-475.

3. Wang X., Li W., Wu Z. CarDD: A New Dataset for Vision-based Car Damage Detection. (электронный ресурс): https://cardd-ustc.github.io/ (дата обращения: 06.03.2026).

4. Roboflow Universe. Car Damage Images Dataset (scratch, dent, broken glass и др.). https://universe.roboflow.com/car-damage-kadad/car-damage-images (дата обращения: 06.03.2026).

5. Hugging Face. vineetsarpal/yolov11n-car-damage – car damage detection (14 damage categories). https://huggingface.co/vineetsarpal/yolov11n-car-damage (дата обращения: 06.03.2026).

UDC 004.942

DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT SYSTEM FOR AUTOMATIC CAR-DAMAGE CLASSIFICATION AND DISPUTE SUPPORT USING MULTIMODAL PHOTO COMPARISON WITH UNCERTAINTY ESTIMATION AND ACTIVE LEARNING

Nichyporchyk K.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Beresnevich A.I. – Master ofTech. Sci., Senior Lecturer at the Department of PICS

Annotation. The article discusses the idea of developing a specialized intelligent subsystem for a car rental service designed to automatically detect and classify vehicle damage based on renters' photo reports. The focus is not only on detecting damage objects in a single image, but also on an evidentiary comparison logic with subsequent formalization of recommendations for dispute resolution. It is proposed to use probabilistic methods for estimating model uncertainty to route ambiguous cases to a human expert and reduce the likelihood of erroneous decisions. Particular attention is paid to matching photo reports across rental phases, which helps lower the risk of false conclusions related to differences in shooting conditions and background wear. The analysis results are expected to be presented as a structured assessment suitable for integration into trip and damage records in a digital rental service. The expected benefit of deployment is faster primary processing of claims and greater transparency of the procedure for the renter, while retaining the possibility of manual review in ambiguous situations.

Keywords: car rental, photo report, vehicle body damage, computer vision, multimodal before/after comparison, machine learning, uncertainty estimation, human-in-the-loop, active learning, dispute resolution.

УДК 621.3.049.77:004.318

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕГИСТРАТОРА ТЕМПЕРАТУРЫ С ИНТЕРФЕЙСОМ USB И ПРОГРАММНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИЕЙ ДАННЫХ НА БАЗЕ AVTDUINO UNO R4 С ПОДДЕРЖКОЙ ETHERNET И POE

Сидоревич М.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Ящук В.А. – магистр, ассистент кафедры ПИКС

Аннотация. В работе рассмотрены вопросы проектирования регистратора температуры с интерфейсом USB и возможностью программной визуализации данных. В качестве аппаратной платформы используется AVTDuino UNO R4 с Ethernet-интерфейсом и поддержкой питания по технологии PoE. Проанализированы основные проблемы разработки подобных устройств, включая точность измерений, устойчивость передачи данных и энергопитание. Предложена архитектура системы, включающая датчики температуры, микроконтроллерный модуль и программное обеспечение визуализации. Рассмотрен пример реализации устройства и приведены результаты его работы. Показано, что использование Ethernet и PoE позволяет повысить надёжность и масштабируемость системы мониторинга.

Ключевые слова: микроконтроллер, AVTDuino UNO R4, регистратор температуры, Ethernet, PoE, USB, IoT, визуализация данных

Введение. Современные системы мониторинга температуры широко применяются в промышленности, энергетике, сельском хозяйстве и научных исследованиях. Особенно актуальны компактные и недорогие решения на базе микроконтроллеров, способные обеспечивать сбор, хранение и передачу данных в реальном времени [1].

С развитием концепции интернета вещей (IoT) возрастают требования к функциональности таких устройств. Помимо базовой регистрации температуры, необходимо обеспечивать удалённый доступ к данным, визуализацию параметров и интеграцию в сетевую инфраструктуру. В этом контексте перспективным является использование платформы AVTDuino UNO R4 совместно с Ethernet-модулями и технологией питания PoE [2].

Однако разработка подобных систем сопряжена с рядом технических проблем: обеспечение точности измерений, устойчивость передачи данных, оптимизация энергопотребления и разработка удобного программного интерфейса [1–13].

Целью данной работы является разработка и анализ архитектуры микроконтроллерного регистратора температуры с интерфейсами USB и Ethernet, а также исследование особенностей его практической реализации.

Основная часть. В основу разработки положена типовая архитектура Ethernet PoE-модуля, реализованная с использованием контроллера W5500 и изолированного преобразователя питания [7].

Принципиальная схема устройства включает входной разъём RJ-45, через который одновременно подаются данные и питание напряжением порядка 48 В. Питание поступает на PoE-модуль, соответствующий стандарту IEEE 802.3af, где происходит его детекция, классификация и преобразование в стабилизированное напряжение 12 В [8].

Далее напряжение подаётся на линейные стабилизаторы, формирующие уровни 5 В и 3,3 В для питания микроконтроллера и Ethernet-контроллера. Для защиты от перенапряжений применяются TVS-диоды, а для фильтрации помех используются керамические и электролитические конденсаторы, размещённые вблизи выводов питания микросхем [9].

Измерительный канал реализован на цифровом датчике температуры, подключённом к микроконтроллеру через однопроводный интерфейс. Обработка данных осуществляется программно, после чего результаты передаются либо через USB, либо через Ethernet в виде TCP/IP пакетов [10].

Проектируемая печатная плата выполнена из стеклотекстолита FR-4 толщиной 1,6 мм с медным покрытием толщиной 0,035 мм. Плата двухсторонняя, 3-го класса точности, с шагом координатной сетки 0,25 мм.

Паразитная ёмкость между проводниками рассчитывается с учётом диэлектрической проницаемости основания, длины перекрытия и геометрических размеров проводников, что особенно важно для высокочастотных цепей Ethernet. Минимальная ширина проводников для цепей питания по результатам расчёта составляет 0,214 мм, однако с учётом технологического запаса принято значение 0,3 мм. Для сигнальных цепей используется ширина 0,2 мм [7].

Индуктивность печатных проводников и сопротивление изоляции оказывают влияние на стабильность работы устройства, особенно при передаче высокоскоростных сигналов. При этом изменение диэлектрических свойств материала платы под воздействием температуры и влажности может приводить к значительным потерям энергии, достигающим значительных значений от расчётной мощности схемы [8].

Расчёт ёмкости печатной платы выполняется через суммарную площадь проводников и толщину основания, что позволяет оценить распределённые параметры схемы и их влияние на работу устройства.

При работе устройства выделяется тепловая мощность порядка 2 Вт, обусловленная работой микроконтроллера, Ethernet-контроллера и стабилизаторов.

Расчёт показал, что перегрев корпуса составляет около 10,7 К, а температура нагретой зоны достигает 52,4 °С при температуре окружающей среды 40 °С (рисунок 1) [9].

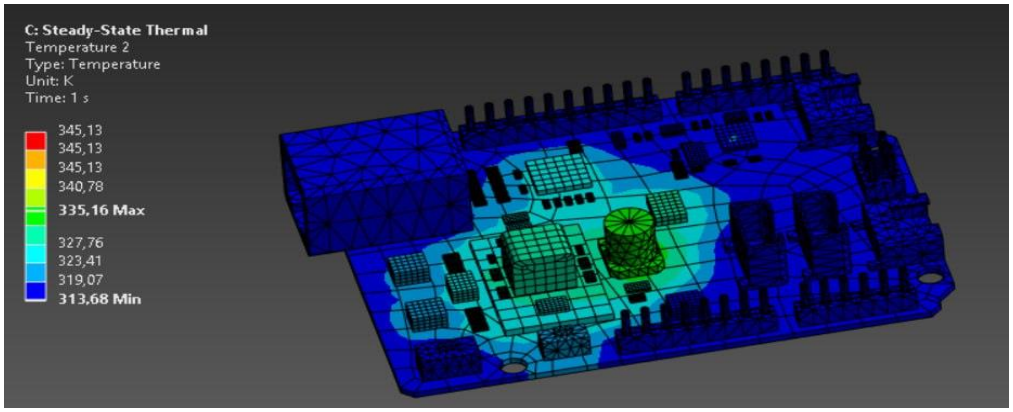


Рисунок 1 – Результат моделирования тепловых процессов в Ansys

Полученные значения находятся ниже допустимых температур для элементной базы, что подтверждает возможность эксплуатации устройства без применения активного охлаждения. Естественная конвекция через перфорированный корпус обеспечивает достаточный теплоотвод.

Надёжность устройства определяется суммарной интенсивностью отказов всех элементов, которая рассчитывается как сумма интенсивностей отказов отдельных компонентов с учётом их количества [10].

Для резисторов принята базовая интенсивность отказов порядка $3 \cdot 10^{-6}$ $ч^{-1}$ при коэффициенте нагрузки 0,5, а общее количество элементов составляет несколько десятков.

В результате расчёта получена средняя наработка на отказ порядка 7463 часов и вероятность безотказной работы за 15000 часов около 0,13.

Полученное значение является недостаточным для серийного изделия, что требует применения компонентов повышенной надёжности либо сокращения срока службы устройства.

Разработанный регистратор температуры обеспечивает стабильное измерение параметров среды и передачу данных по двум независимым каналам связи. Использование Ethernet позволяет интегрировать устройство в локальную сеть и реализовать удалённый мониторинг, тогда как USB обеспечивает удобство локальной настройки и диагностики.

Применение PoE существенно упрощает установку устройства и снижает требования к инфраструктуре, поскольку исключается необходимость отдельного источника питания.

Заключение. В ходе работы разработан микроконтроллерный регистратор температуры с интерфейсами USB и Ethernet и поддержкой питания PoE. Проведённый схемотехнический анализ показал целесообразность использования стандартных Ethernet-решений на базе контроллера W5500 и PoE-модулей.

Выполненный тепловой анализ показал допустимость работы устройства в заданных условиях без дополнительного охлаждения.

Расчёт надёжности выявил необходимость повышения качества элементной базы, что является важным направлением дальнейшей доработки устройства.

В целом предложенное решение может быть использовано в учебных и инженерных задачах, связанных с разработкой распределённых измерительных систем.

Список литературы

1. Электронные измерительные системы / А. А. Сидоров. – Москва : Наука, 2020. – С. 156-164

2. Arduino UNO R4 Datasheet [Электронный ресурс]. – Arduino SA. – Режим доступа: https://docs.arduino.cc/hardware/uno-r4 – Дата доступа: 28.03.2026.

3. Алексеев, В. Ф. Определение целевых функций и их ограничений в задачах оптимизации при генеративном проектировании = Determination of objective functions and their constraints in optimization problems in generative design / В. Ф. Алексеев, Д. В. Лихачевский, Г. А. Пискун // Big Data и анализ высокого уровня = Big Data and Advanced Analytics : сборник научных статей XI Международной научно-практической конференции, Республика Беларусь, Минск, 23–24 апреля 2025 года / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники [и др.] ; редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск, 2025. – С. 487–494.

4. Алексеев, В. Ф. Прототипирование и концептуальное проектирование средств медицинской электроники = Prototyping and conceptual design of medical electronics / В. Ф. Алексеев, Д. В. Лихачевский, Г. А. Пискун // Медэлектроника–2024. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии : сборник научных статей XIV Международной научно-технической конференции, Минск, 5–6 декабря 2024 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники [и др.]. – Минск, 2024. – С. 202–206.

5. Моделирование и оптимальное проектирование технических систем : учебно-методическое пособие / В. Ф. Алексеев, Д. В. Лихачевский, Г. А. Пискун, В. В. Шаталова. − Минск : БГУИР, 2024. – 99 с.

6. Алексеев, В.Ф. Принципы конструирования и автоматизации проектирования РЭУ: Учеб. пособие / В.Ф.Алексеев.- Мн.: БГУИР, 2003. - 197 с.

7. W5500 Ethernet Controller Datasheet [Электронный ресурс] / WIZnet Co., Ltd. – Режим доступа: https://wiznet.io/products/ethernet-chips/w5500 – Дата доступа: 28.03.2026.

8. IEEE 802.3af Standard. Power over Ethernet [Электронный ресурс] / IEEE Standards Association. – Режим доступа: https://standards.ieee.org/standard/802_3af-2003.html – Дата доступа: 28.03.2026.

9. Silvertel PoE Modules Guide [Электронный ресурс] / Silvertel Ltd. – Режим доступа: https://www.silvertel.com – Дата доступа: 28.03.2026.

10. Стивенс, У. Р. TCP/IP Illustrated. Volume 1: The Protocols / У. Р. Стивенс. – Boston : Addison-Wesley, 2011. – 768 с.

11. Основы проектирования печатных плат : учебное пособие / под ред. В. В. Кузнецова. – Москва : Машиностроение, 2018. – 256 с.

12. Программное обеспечение инженерного моделирования физических процессов. Лабораторный практикум. В 2 ч. Ч. 1 : Тепловые режимы работы и защиты конструкций РЭС от механических воздействий : пособие / В. Ф. Алексеев, И. Н. Богатко, Г. А. Пискун. – Минск : БГУИР, 2017. – 124 с.

13. Методы расчёта надёжности радиоэлектронных средств : учебное пособие / под ред. Н. Н. Смирнова. – Москва : Радио и связь, 2015. – 288 с.

UDC 621.3.049.77:004.318

DESIGN OF A TEMPERATURE DATA LOGGER WITH USB INTERFACE AND DATA VISUALIZATION USING ARDUINO UNO R4 WITH ETHERNET AND POE SUPPORT

Sidorevich M.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Yashchuk V.A. – Master of Sci., Assistant Professor, Department of Information and Computer Systems Design

Annotation. This paper presents the design of a microcontroller-based temperature data logger with a USB interface and software-based data visualization. The system is based on the Arduino UNO R4 platform with Ethernet connectivity and Power over Ethernet (PoE) support. Key challenges such as measurement accuracy, data transmission reliability, and power supply are analyzed. The proposed system architecture includes temperature sensors, a microcontroller unit, and visualization software. A prototype implementation is described, demonstrating stable operation and effective data handling.

Keywords: microcontroller, AVTDuino UNO R4, temperature logger, Ethernet, PoE, USB, IoT, data visualization

УДК 004.7 + 621.3.049.77

ОБЗОР МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ПОСТРОЕНИЯ КОНЦЕНТРАТОРОВ И СИСТЕМ СВЯЗИ НА ИНТЕРФЕЙСАХ RS-422 И RS-485

Трутнев Н. А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Алексеев В.Ф. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. В статье рассматриваются методы построения систем связи на базе интерфейсов RS-422 и RS-485, широко применяемых в промышленной автоматике. Проведен анализ топологий сетей, способов согласования линий и организации многоточечного обмена. Особое внимание уделено принципам построения концентраторов и ретрансляторов сигналов. Рассмотрены аппаратные решения на основе современных микросхем трансиверов. Сделан вывод о перспективах применения данных интерфейсов в распределённых системах управления.

Ключевые слова: концентратор, интерфейсы RS-422 и RS-485, промышленная автоматика, ретрансляторы, топология сети

Введение. Интерфейсы RS-422 и RS-485 являются одними из наиболее распространённых стандартов передачи данных на физическом уровне в промышленных сетях. Их популярность обусловлена высокой помехоустойчивостью, возможностью передачи данных на большие расстояния и простотой реализации. В современных системах автоматизации часто возникает задача объединения множества устройств в единую сеть, что требует применения концентраторов и ретрансляторов. При этом важную роль играют вопросы согласования линий, топологии сети и обеспечения надёжности передачи данных.

Несмотря на стремительное развитие беспроводных и высокоскоростных интерфейсов передачи данных (USB, Ethernet, Wi-Fi), интерфейсы RS-422 и RS-485 сохраняют свое значение как базовая технология для построения надежных систем промышленной связи.

RS-422 и RS-485 основаны на принципе дифференциальной (балансной) передачи сигнала, что обеспечивает их принципиальное преимущество перед устаревшим RS-232. В отличие от RS-232, где сигнал измеряется относительно общего провода (GND) и легко подвержен помехам, дифференциальная передача использует пару проводов (D+ и D-), а логический уровень определяется разностью потенциалов между ними. Это делает интерфейсы RS-422 и RS-485 высокоустойчивыми к синфазным помехам и электромагнитным наводкам, что критически важно для промышленных сред с высоким уровнем шумов.

Ключевыми преимуществами рассматриваемых интерфейсов являются возможность передачи данных на расстояние до 1200 метров (против 15 метров у RS-232) и поддержка многоточечной топологии. RS-422 поддерживает связь типа «один передатчик – несколько приемников» (до 10 устройств), в то время как RS-485 позволяет организовывать полноценные многоточечные сети, объединяющие до 32, а с использованием современных приемопередатчиков – до 256 узлов в одной шине. Это позволяет строить распределенные системы сбора данных и управления территориально распределенными объектами.

Актуальность темы подтверждается устойчивым ростом рынка. Согласно аналитическим данным, глобальный рынок RS-485/RS-422 трансиверов в 2026 году оценивается примерно в 200 млн долларов США с прогнозируемым среднегодовым темпом роста 5,4% до 2033 года, что обусловлено ростом промышленной автоматизации и внедрением интеллектуальных сетей (Smart Grid) . Рынок последовательных шлюзов для подключения RS-устройств к сотовым сетям демонстрирует еще более высокие темпы роста – ожидаемый CAGR составляет 15,7% в 2026 году, что свидетельствует о высокой востребованности решений для интеграции legacy-оборудования в современные IoT-экосистемы.

Основная часть. Интерфейс RS-422 предназначен для организации связи между устройствами по схеме «точка-точка» или «один передатчик – несколько приёмников». Он использует дифференциальную передачу сигналов, что позволяет значительно повысить устойчивость к электромагнитным помехам. Передача осуществляется по витой паре проводников, благодаря чему снижается влияние внешних наводок. Получается передавать данные на расстояния до нескольких сотен метров и более при снижении скорости передачи.

Интерфейс RS-485 является развитием RS-422 и отличается возможностью организации многоточечной связи. В такой сети несколько устройств могут подключаться к одной линии и обмениваться данными поочередно. Это делает RS-485 особенно удобным для построения распределённых систем управления. Однако при этом возникает необходимость управления доступом к линии, чтобы исключить одновременную передачу нескольких устройств [1].

При построении сетей на базе указанных интерфейсов используются различные топологии [2, 3]. Наиболее распространённой является линейная топология по-другому шина, при которой все устройства подключаются к одной магистрали. Также применяется звездообразная структура, реализуемая с помощью концентраторов, древовидная топология, представляющая собой комбинацию нескольких сегментов, ячеистая и линейная топологии. Выбор топологии оказывает существенное влияние на надёжность и качество передачи сигналов. В частности, линейная топология обеспечивает минимальное количество отражений при правильном согласовании линии, однако чувствительна к обрывам, поскольку выход из строя одного участка может привести к нарушению работы всей сети. Звездообразная структура упрощает локализацию неисправностей и повышает управляемость сети, но требует использования дополнительных активных устройств и может приводить к усложнению схемы согласования. Древовидная топология позволяет комбинировать преимущества различных подходов, обеспечивая гибкость при построении разветвлённых систем, однако при этом возрастает сложность расчёта параметров линии и обеспечения стабильной передачи данных. Кроме того, при выборе топологии необходимо учитывать влияние паразитных ёмкостей и индуктивностей кабеля, а также особенности распределения нагрузки между узлами сети, что непосредственно отражается на допустимой длине сегментов и скорости передачи информации.

Одной из ключевых проблем при передаче данных по длинным линиям является возникновение отражений сигнала, которые появляются при несогласовании параметров линии и нагрузки. Для устранения этого эффекта используются согласующие резисторы, устанавливаемые на концах линии.

Концентраторы в системах связи выполняют функции объединения нескольких сегментов сети и восстановления сигналов. Они позволяют увеличить протяжённость сети, повысить её устойчивость к помехам и обеспечить более гибкую структуру подключения устройств. В состав концентратора входят трансиверы, обеспечивающие преобразование сигналов, а также схемы управления и элементы питания. В ряде случаев применяются средства гальванической развязки, повышающие безопасность и надёжность работы системы [4].

Современные аппаратные решения для реализации интерфейсов RS-422 и RS-485 представлены специализированными микросхемами трансиверов [5]. Такие устройства обеспечивают необходимый уровень сигнала, защиту от перегрузок и устойчивость к внешним воздействиям. Они поддерживают различные режимы работы, включая полудуплексный и полный дуплекс, и могут использоваться в широком диапазоне условий эксплуатации. В состав подобных микросхем, как правило, входят дифференциальные драйверы и чувствительные приёмники, обеспечивающие корректную работу при наличии помех и значительных длинах линии связи. Дополнительно реализуются функции ограничения скорости нарастания сигналов, что позволяет снизить уровень электромагнитных излучений и уменьшить влияние отражений в линии. Многие современные трансиверы имеют встроенные схемы защиты от электростатических разрядов, короткого замыкания и перегрева, что повышает общую надёжность системы. Также предусматриваются режимы пониженного

энергопотребления, позволяющие использовать устройства в энергоограниченных системах. Хорошим примером трансивера является микросхемы MAX489CSD, представляющая собой маломощный приемопередатчик (трансивер) от Maxim Integrated, предназначенный для интерфейсов RS-485 и RS-422, обеспечивающий дуплексную связь. Микросхема работает на скорости до 250 кбит/с, имеет по одному драйверу и приемнику, используется для передачи данных на большие расстояния в промышленных сетях.

При проектировании систем необходимо учитывать взаимосвязь между длиной линии связи и скоростью передачи данных. Увеличение длины линии приводит к необходимости снижения скорости передачи для обеспечения корректной работы системы. Также важно учитывать количество подключённых устройств, так как это влияет на электрические параметры линии.

Заключение. Интерфейсы RS-422 и RS-485 продолжают широко использоваться в промышленной автоматике и системах управления благодаря своей надёжности и устойчивости к помехам. Особенно востребован интерфейс RS-485, который позволяет строить многоточечные сети с относительно простой архитектурой. Применение концентраторов и ретрансляторов даёт возможность расширять сеть и повышать её функциональные возможности. Ключевыми факторами успешного проектирования являются правильный выбор топологии, обеспечение согласования линии и защита от внешних воздействий. Современные микросхемы значительно упрощают разработку подобных систем и позволяют создавать эффективные и надёжные решения.

Список литературы

1. В чем отличия интерфейсов RS-232, RS-422 и RS-485? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ipc2u.ru/articles/prostye-resheniya/otlichiya-interfeysov-rs-232-rs-422-rs-485/. – Дата доступа: 20.03.2026.

2. Виды топологий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studfile.net/preview/8905649/page:14/. – Дата доступа: 21.03.2026.

3. Олифер, В. Г. Компьютерные сети : принципы, технологии, протоколы / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – Юбилейное изд., доп. и испр. - Санкт-Петербург : Питер, 2024. – 1008 с.

4. Что такое гальваническая развязка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.shtyl.ru/support/articles/chto-takoe-galvanicheskaya-razvyazka/?srsltid=AfmBOoqTVwVMqjYmy0NTxD6HJpbvoW2Fu4MWPv-aUjcvVNEuOtuoLG1e. – Дата доступа: 21.03.2026.

5. Что такое трансивер [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://landcomm.ru/blog/chto-takoe-transiver/ – Дата доступа: 26.03.2025.

UDC 004.7 + 621.3.049.77

REVIEW OF METHODS AND TOOLS FOR CONSTRUCTING CONCENTRATORS AND COMMUNICATION SYSTEMS ON RS-422 AND RS-485 INTERFACES

Trutnev N. A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Alexseev V.F. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. This article examines methods for constructing communication systems based on RS-422 and RS-485 interfaces, which are widely used in industrial automation. It analyzes network topologies, methods for line matching, and the organization of multipoint exchanges. Particular attention is paid to the design principles of signal concentrators and repeaters. Hardware solutions based on modern transceiver microcircuits are discussed. A conclusion is drawn regarding the potential for using these interfaces in distributed control systems.

Keywords: hub, RS-422 and RS-485 interfaces, industrial automation, repeaters, network topology

УДК 621.3.049.77:004.318

МИКРОКОНТРОЛЛЕРНЫЙ РЕВЕРСИВНЫЙ ЧАСТОТОМЕР С ГРАФИЧЕСКОЙ ИНДИКАЦИЕЙ И АППАРАТНЫМ ОПРЕДЕЛЕНИЕМ НАПРАВЛЕНИЯ СЧЁТА

Василевский П.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Ящук В.А. – магистр, ассистент кафедры ПИКС

Аннотация. В работе рассмотрены вопросы построения реверсивного частотомера, включая разработку структурной схемы устройства, методы формирования квадратурных сигналов и реализацию реверсивного счёта на аппаратных таймерах микроконтроллера. Проведено сравнение методов измерения частоты (прямого, обратного и комбинированного), показаны преимущества реверсивного метода. Описана организация вывода информации на графический дисплей с отображением частоты, направления счёта и гистограммы изменения сигнала. Показано, что предложенные решения обеспечивают высокую точность, наглядность и эффективность работы устройства.

Ключевые слова: реверсивный частотомер, измерение частоты, реверсивный счёт, квадратурные сигналы, методы измерения частоты, точность измерений, графический дисплей, отображение данных.

Введение. Современные методы измерения частоты сигналов основаны на цифровой обработке импульсных последовательностей и позволяют получать точные значения частоты, периода и временных интервалов. В отличие от устаревших аналоговых методов, современные электронные частотомеры используют микропроцессорную и цифровую элементную базу, что обеспечивает высокую точность измерений, расширенный функционал и возможность автоматической обработки результатов [1–4].

С развитием цифровой электроники и измерительных систем возрастают требования к функциональности частотомеров. Помимо базового измерения частоты, устройства должны обеспечивать широкий диапазон измерений, высокую разрешающую способность, устойчивость к помехам и возможность работы в различных режимах, включая реверсивный счёт. Перспективным является использование высокостабильных опорных генераторов, цифровых счётчиков и современных схемных решений.

Целью данной работы является разработка и анализ конструкции реверсивного частотомера, а также исследование особенностей его практической реализации с обеспечением высокой точности, надёжности и стабильности работы.

Основная часть. Существует несколько основных методов измерения частоты, каждый из которых имеет свои особенности и области применения.

Метод прямого счёта основан на подсчёте количества импульсов входного сигнала за фиксированный интервал времени, формируемый опорным генератором. Этот метод отличается простотой реализации и высокой точностью при измерении высоких частот, поскольку за время измерения накапливается большое количество импульсов. Однако при низких частотах его точность существенно снижается из-за малого числа отсчётов, что приводит к увеличению относительной погрешности.

Метод обратного счёта (измерение периода) заключается в измерении времени между двумя соседними импульсами входного сигнала с использованием высокостабильного опорного генератора. Такой подход обеспечивает высокую точность при низких частотах, так как измеряется длительный временной интервал. Недостатком является снижение точности на высоких частотах, а также повышенные требования к быстродействию измерительной системы.

Комбинированный метод объединяет преимущества двух предыдущих: в зависимости от диапазона частот автоматически выбирается либо прямой счёт, либо измерение периода. Это позволяет обеспечить более равномерную точность во всём диапазоне измерений, однако усложняет схемотехнику и алгоритмы обработки данных.

В реверсивном частотомере используется усовершенствованный подход, близкий к комбинированному методу, но с применением реверсивного счёта и синхронизации измерительного интервала с фронтами входного сигнала. Это позволяет уменьшить погрешность квантования и повысить точность измерений как на низких, так и на высоких частотах.

К основным преимуществам такого подхода относятся более высокая точность во всём диапазоне измерений, снижение влияния нестабильности временного окна, улучшенная помехоустойчивость за счёт синхронизации с входным сигналом, а также возможность определения направления изменения сигнала. Благодаря этому реверсивный частотомер обеспечивает более стабильные и достоверные результаты по сравнению с классическими методами измерения частоты.

Структурная схема реверсивного частотомера включает несколько функциональных узлов, обеспечивающих обработку входного сигнала и вычисление его частотных параметров. Входной сигнал поступает на формирователь, где происходит его преобразование в последовательность прямоугольных импульсов с заданными уровнями напряжения. Далее сигнал подаётся на счётный узел, состоящий из цифровых счётчиков, которые осуществляют накопление импульсов за определённый временной интервал, задаваемый опорным генератором. Опорный генератор формирует стабильную временную базу, определяющую точность измерения. Управляющий блок синхронизирует процессы запуска и остановки счёта, а также переключение режимов работы. Полученные данные передаются в блок обработки, где вычисляется значение частоты, после чего результат выводится на индикатор или передаётся во внешние системы.

Реализация реверсивного счётчика на аппаратных таймерах микроконтроллера основана на использовании встроенных периферийных модулей, предназначенных для подсчёта внешних импульсов и обработки сигналов с минимальной нагрузкой на центральное ядро. В большинстве современных микроконтроллеров таймеры могут работать в режиме счётчика, принимая импульсы с внешнего входа и инкрементируя или декрементируя своё значение в зависимости от управляющих сигналов.

Для организации реверсивного счёта входной сигнал подаётся на один из каналов таймера, настроенного в режим внешнего тактирования. Одновременно второй вход используется для определения направления счёта. В случае применения квадратурных сигналов (A и B) аппаратный таймер может работать в специальном режиме энкодера, при котором направление определяется автоматически на основе фазового сдвига между сигналами. Если сигнал A опережает сигнал B, таймер увеличивает значение счётчика, если отстаёт – уменьшает.

Аппаратные таймеры обеспечивают высокую точность и быстродействие, так как обработка сигналов выполняется на уровне периферии без участия процессора. Это позволяет измерять частоты в широком диапазоне и минимизировать влияние программных задержек. Дополнительно таймер может быть связан с другим таймером или внутренним генератором, формирующим временное окно измерения, по окончании которого текущее значение счётчика фиксируется и используется для вычисления частоты.

Для повышения надёжности работы используются встроенные фильтры входных сигналов и схемы подавления дребезга, что особенно важно при работе с реальными источниками импульсов. Также возможна генерация прерываний при переполнении счётчика или завершении измерительного интервала, что позволяет организовать обработку результатов и дальнейшую передачу данных.

Вывод частоты осуществляется в цифровом виде с учётом выбранного диапазона и разрешения измерений. Значение может автоматически масштабироваться (Гц, кГц, МГц), что

позволяет удобно отображать как низкие, так и высокие частоты без перегрузки экрана. Для повышения читаемости используются крупные шрифты и обновление значения производится с учётом завершения измерительного интервала.

Направление счёта отображается с помощью графических индикаторов, например стрелок или символов, указывающих увеличение или уменьшение счётного значения. Это особенно важно при работе с реверсивным режимом, где необходимо оперативно отслеживать изменение входного сигнала.

Для реализации вывода используется контроллер графического дисплея, взаимодействующий с микроконтроллером по интерфейсам SPI или I2C. Программная часть включает формирование кадров изображения, буферизацию данных и оптимизацию обновления экрана для снижения нагрузки на систему. В результате обеспечивается информативный и удобный интерфейс, повышающий эффективность работы с устройством.

Заключение. В результате рассмотрения структурной организации реверсивного частотомера, методов формирования квадратурных сигналов, реализации реверсивного счёта на аппаратных таймерах микроконтроллера, а также сравнения методов измерения частоты, установлено, что применение реверсивного принципа счёта позволяет существенно повысить точность измерений во всём диапазоне частот. Использование аппаратных возможностей микроконтроллера обеспечивает высокое быстродействие и снижает нагрузку на программную часть, а применение квадратурных сигналов позволяет корректно определять направление изменения сигнала.

Список литературы

1. Reciprocal Frequency Counter / Charles Kosina // Practical Electronics. – 2024. – № 7. – С. 30-36.

2. Лежнев, А.В. Цифровые измерительные системы учета электроэнергии: учебное пособие / А.В. Лежнев. – Екатеринбург: УрФУ, 2010. – 88 с.

3. Основы проектирования печатных плат : учебное пособие / под ред. В. В. Кузнецова. – Москва : Машиностроение, 2018. – 256 с.

4. Методы расчёта надёжности радиоэлектронных средств : учебное пособие / под ред. Н. Н. Смирнова. – Москва : Радио и связь, 2015. – 288 с.

UDC 621.3.049.77:004.318

MICROCONTROLLER-BASED REVERSIBLE FREQUENCY COUNTER WITH GRAPHICAL DISPLAY AND HARDWARE-BASED DETERMINATION OF COUNTING DIRECTION

Vasileuski P.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Yashchuk V.A. – master's degree student, Assistant Professor, Department of Information and Computer Systems Design

Annotation. The paper considers the principles of designing a reciprocal frequency counter and the features of its implementation based on modern electronic components. Particular attention is paid to ensuring high measurement accuracy through the use of a reversible counting method, hardware timers of a microcontroller, and quadrature signal generation for direction detection.

Various frequency measurement methods are analyzed, and the chosen approach is justified as it reduces measurement error over a wide frequency range. The organization of data output to a graphical display is also discussed, providing clear and informative visualization of measurement results. It is shown that the proposed solutions improve the efficiency and reliability of the device.

Keywords: reciprocal frequency counter, frequency measurement, reversible counting, quadrature signals, frequency measurement methods, measurement accuracy, graphical display.

УДК 622.7.049.77

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ МЕТОДОМ УЗЛОВЫХ НАПРЯЖЕНИЙ СРЕДСТВАМИ MATLAB

Вильтовская А.Д.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Шилин Л.Ю. – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры ИТАС

Аннотация. Рассмотрено применение метода узловых напряжений для анализа линейных электрических цепей постоянного тока. Предложена автоматизация расчета параметров цепи путем формирования системы уравнений и ее решения в среде MATLAB. Показано, что матричная форма записи уравнений позволяет эффективно реализовать вычислительную процедуру. Предложенный подход сокращает время вычислений и минимизирует вероятность арифметических ошибок на этапе проектирования, что подтверждается численным решением для тестовой схемы.

Ключевые слова: метод узловых напряжений, MATLAB, линейные электрические цепи, автоматизация проектирования

Введение. Современные задачи проектирования радиоэлектронных средств требуют быстрого и точного анализа электрических режимов работы схем. Классические методы расчета цепей постоянного тока (методы контурных токов, узловых напряжений, эквивалентного генератора) при ручном счете трудоемки и подвержены арифметическим ошибкам. Наиболее универсальным для компьютерной реализации является метод узловых напряжений (МУН) [1].

В данной статье автором показано, что применение среды MATLAB с ее встроенными средствами матричной алгебры позволяет полностью автоматизировать процесс формирования и решения системы уравнений МУН.

Основная часть. При реализации автоматизированного расчета необходимо решить следующие задачи:

– построить математическую модель цепи в матричной форме;

– разработать алгоритм формирования матрицы узловых проводимостей и вектора узловых токов;

– выполнить численное решение и интерпретировать результаты.

Сущность метода узловых напряжений сводится к определению напряжений относительно некоторого базисного узла. Если принять потенциал базисного узла равным нулю, то разность потенциалов между остальными узлами и базисным узлом будет равна напряжению между этими узлами. Зная напряжения, можно найти токи в ветвях [2].

Для демонстрации реализации конкретной задачи используем схему электрической цепи, представленной на рисунке 1.

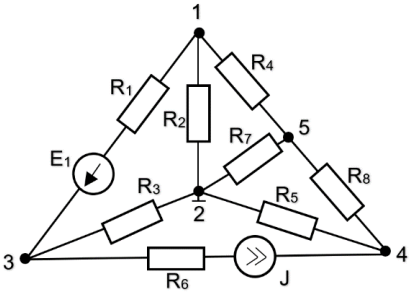


Рисунок 1 – Схема электрической цепи

В общем случае система уравнений записывается в матричной форме по формуле 1:

$$Y * U = I, \quad (1)$$

где Y – матрица узловых проводимостей;

U – вектор узловых напряжений;

I – вектор токов источников.

Для данной цепи после выбора базисного узла (узел 2) система уравнений будет иметь вид, представленный формулой 2:

$$\begin{cases} U_{12}\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_4}\right) - U_{32}\frac{1}{R_1} - U_{52}\frac{1}{R_4} = -\frac{E_1}{R_1} \\ -U_{12}\frac{1}{R_1} + U_{32}\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_3}\right) = \frac{E_1}{R_1} - J \\ -U_{12}\frac{1}{R_4} + U_{52}\left(\frac{1}{R_4}+\frac{1}{R_7}+\frac{1}{R_8}\right) - U_{42}\frac{1}{R_8} = 0 \\ -U_{52}\frac{1}{R_8} + U_{42}\left(\frac{1}{R_5}+\frac{1}{R_8}\right) = J \end{cases} \quad (2)$$

где $\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_4}\right)$ – собственная узловая проводимость узла 1;

$\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_3}\right)$ – собственная узловая проводимость узла 3;

$\left(\frac{1}{R_4}+\frac{1}{R_7}+\frac{1}{R_8}\right)$ – собственная узловая проводимость узла 5;

$\left(\frac{1}{R_5}+\frac{1}{R_8}\right)$ – собственная узловая проводимость узла 4;

$\frac{1}{R_1}, \frac{1}{R_4}, \frac{1}{R_8}$ – проводимость ветви, соединяющей узлы 1 и 3, 1 и 5, 4 и 5;

$-\frac{E_1}{R_1}, \frac{E_1}{R_1} - J, J$ – узловые токи узлов 1, 3, 4;

$U_{12}, U_{32}, U_{42}, U_{52}$ – напряжения между узлами 1, 3, 4, 5 и базисным узлом 2.

Для автоматизированного решения системы формируется матрица проводимостей **Y** и вектор правых частей **I**. Листинг программы включает задание параметров элементов, формирование матриц и решение системы с использованием оператора обратной косой черты (\), который реализует метод Гаусса с учётом разреженности матрицы:

```
1 Задание параметров:
R1 = 100; R2 = 200; R3 = 150; R4 = 100; R5 = 300; R7 = 250; R8 = 180;
E1 = 10; J = 0.05;
2 Формирование матрицы проводимостей Y:
Y = zeros(4);
Y(1,1) = 1/R1 + 1/R2 + 1/R4; Y(1,2) = -1/R1; Y(1,3) = -1/R4;
Y(2,1) = -1/R1; Y(2,2) = 1/R1 + 1/R3;
Y(3,1) = -1/R4; Y(3,3) = 1/R4 + 1/R7 + 1/R8; Y(3,4) = -1/R8;
Y(4,3) = -1/R8; Y(4,4) = 1/R8 + 1/R5;
3 Формирование вектора правых частей I:
I = [-E1/R1; E1/R1 - J; 0; J];
4 Решение системы:
U = Y \ I;
disp(U);
```

Полученные значения узловых напряжений позволяют определить все токи ветвей по закону Ома и провести проверку баланса мощностей, что подтверждает корректность моделирования. Предложенная методика легко интегрируется в более сложные системы статистического анализа и оптимизации.

Предложенная в работе методика полностью реализована в среде MATLAB, что позволяет говорить о её практической ценности. Именно благодаря встроенным матричным операциям MATLAB система уравнений (1) решается одной строкой кода, тогда как при

ручном счёте или программировании на низкоуровневых языках потребовалось бы реализовывать метод Гаусса отдельно [3].

Выбор среды MATLAB обусловлен не её популярностью, а прямым соответствием матричной структуре метода узловых напряжений [4].

Важным аспектом связи MATLAB с предлагаемой методикой является возможность быстрой модификации расчёта под новые схемы. При изменении топологии цепи – добавлении или удалении узлов, замене источников – достаточно скорректировать несколько строк в разделе формирования матрицы Y и вектора I, не переписывая всю программу. Это делает разработанный алгоритм универсальным шаблоном, пригодным для анализа широкого класса линейных цепей постоянного тока [5].

Заключение. Выполнен анализ применения метода узловых напряжений для автоматизированного расчёта линейных электрических цепей постоянного тока. Для рассматриваемой конфигурации схемы показано, что использование матричной формы записи и встроенного оператора `обратной косой черты` среды MATLAB позволяет получить значения узловых напряжений с высокой точностью за доли секунды, полностью исключая арифметические ошибки ручного счёта.

Определено, что предложенная методика легко масштабируется на цепи любой сложности, в том числе с управляемыми источниками и нелинейными элементами при итерационных методах. Разработан подход к автоматическому формированию матрицы проводимостей на основе топологического описания схемы.

Список литературы

1. Бессонов, Л.А. Методы анализа линейных электрических цепей постоянного тока / Л.А. Бессонов // Электричество. – 2015. – Vol. 1, № 3. – P. 12–19.

2. Зевеке, Г.В. Матричные методы формирования узловых уравнений электрических цепей / Г.В. Зевеке, П.А. Ионкин // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 1987. – Vol. 30, № 5. – P. 23–28.

3. Бебихов, Ю.В. Применение математического моделирования для решения линейных алгебраических и обыкновенных дифференциальных уравнений / Ю.В. Бебихов, А.С. Семёнов, М.Н. Семёнова, И.А. Якушев // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и Технические Науки. – 2019. – Vol. 4, № 2. – С. 29–36.

4. Шакин, В.Н. Аналитические вычисления и примеры решения задач электротехники средствами символьной математики Matlab / В.Н. Шакин, Т.Н. Семенова, Т.И. Семенова. – Москва : Горячая линия – Телеком, 2021. – 237 с. – ISBN 978-5-9912-0924-3.

5. Фриск, В.В. Применение пакета MATLAB и SIMULINK для анализа электрических цепей / В.В. Фриск, В.И. Ганин, А.Г. Степанова // Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике. – 2020. – Vol. 1, № 2. – P. 45–52.

UDC 622.7.049.77

AUTOMATION OF ELECTRIC CIRCUIT CALCULATION BY THE NODAL VOLTAGE METHOD USING MATLAB

Viltovskaya A.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Shilin L.Y. – Dr. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ITAS

Annotation. The application of the nodal voltage method for the analysis of linear DC electrical circuits is considered. Automation of circuit parameter calculation by forming a system of equations and solving it in MATLAB is proposed. It is shown that the matrix form of writing equations allows an efficient implementation of the computational procedure. The proposed approach reduces computation time and minimizes the probability of arithmetic errors at the design stage, which is confirmed by a numerical solution for a test circuit.

Keywords: nodal voltage method, MATLAB, linear electrical circuits, computer-aided design

УДК 004.5

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ В УПРАВЛЕНИИ КОМПЬЮТЕРОМ

Яцковец М.А., Завалей В.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Скиба И.Г. – магистр, ассистент кафедры ЭВМ

Аннотация: В данной статье анализируются перспективы использования компьютерного зрения для управления ПК. Рассматриваются ключевые методы взаимодействия (жестовое управление, трекинг головы и глаз), реализуемые на базе стандартных веб-камер. Выявляются основные технические и эргономические барьеры внедрения.

Ключевые слова: нейросети, компьютерное зрение, человеко-машинное взаимодействие

Введение. Массовое распространение технологий компьютерного зрения в мобильных приложениях наглядно демонстрирует зрелость этой технологии. Даже на устройствах с ограниченными ресурсами успешно реализован надежный трекинг головы и жестов в реальном времени, что доказывает преодоление основных технических барьеров для внедрения подобных решений. Однако наблюдается существенный разрыв между использованием этих технологий в развлекательных целях и их внедрением в более профессиональную среду персональных компьютеров. В данной работе исследуются перспективы внедрения компьютерного зрения в управление персональным компьютером.

Основная часть. Современное компьютерное зрение предлагает три ключевых способа взаимодействия и регистрации действий. Каждый из них базируется на отслеживании специфических точек тела человека и интерпретации их движений.

Наиболее естественным способом ввода является перенос моторики рук в цифровое пространство. Современные алгоритмы (например, архитектуры, используемые в решениях MediaPipe или OpenPose) позволяют строить 3D-модель кисти по RGB-изображению, отслеживая ключевые точки, такие как суставы пальцев. Примером способа ввода может быть позиция указательного пальца, интерпретируемая как курсор, а «щипок» как триггер клика. В качестве технологической базы обычно используются легковесные сверточные нейросети, обученные на синтетических данных, специально подобранных для повышения устойчивости к перекрытиям, когда пальцы закрыты преградой. В массовом ПО распознавание рук ограничивается определением простейших жестов (например, «палец вверх») для активации эмодзи-реакций в платформах видеосвязи.

Навигация на основе положения головы позволяет использовать голову пользователя как указатель, так и аналог джойстика. Алгоритмы решают задачу Perspective-n-Point, определяя ориентацию головы в пространстве на основе 2D-проекции лица. Как дополнительные средства управления, вертикальные наклоны головы можно использовать для скроллинга текста, горизонтальные – для переключения вкладок или окон. Для команд нажатия клавиш можно использовать жесты лица: поднятие бровей, моргание или открытие рта. Это реализуется через анализ геометрии лицевой сетки, содержащей множество опорных точек лица, или через векторную оценку положения головы в пространстве [1]. Для обычного потребителя использование наклонов и поворотов головы сосредоточено преимущественно в развлекательном сегменте приложений для управления масками или игровыми механиками, практически не применяясь в более серьезных задачах.

Отслеживание положения глаз позволяет определять точку фиксации взгляда на экране. В данном случае взгляд может использоваться для быстрого перемещения курсора. Метод основывается на том, что нейросети сегментируют область радужной оболочки и зрачка, а затем сопоставляют их положение с вектором головы для вычисления финальной координаты на плоскости монитора [2]. Технологии отслеживания взгляда на данный момент применяются в основном для отслеживания внимания пользователя.

Изначально для точного трекинга тела требовались дорогостоящие системы с нательными датчиками и маркерами, доступные лишь специализированным компаниям. В то же время для отслеживания взгляда требуются высокоточные и дорогостоящие инфракрасные датчики. Большим скачком вперед стало появление сенсоров глубины (например, Microsoft Kinect), которые позволили отказаться от надеваемой электроники, но все еще требовали покупки отдельного устройства. Сегодня, благодаря прогрессу в нейросетях, мы переходим к использованию обычных камер, встроенных в каждый современный ноутбук. Современные алгоритмы способны вычислять глубину и геометрию движений, позволяя реализовать качественное управление на любой стандартной веб-камере.

Несмотря на доступность алгоритмов, массовое внедрение систем компьютерного зрения в качестве основного инструмента ввода ограничивается рядом эргономических и технических факторов. В отличие от нажатия физической кнопки, взгляд или положение головы всегда активны. Системе часто бывает сложно отделить случайное действие от осознанной команды. Это требует разработки сложных алгоритмов фильтрации и контекстного понимания, чтобы избежать непреднамеренных взаимодействий. Длительное использование средств управления, связанных с активным движением, быстро вызывает мышечную усталость. Поэтому решения, основанные на жестах и движениях головой, непригодны для продолжительной работы. Они больше подходят для коротких сессий или специфических задач. Обычные веб-камеры чувствительны к освещению, поэтому неправильно поставленный свет и низкая освещенность снижают точность определения ключевых точек, что ведет к недопустимым проблемам с управлением.

Заключение. Методы компьютерного зрения имеют огромный потенциал в задачах облегчения и расширения взаимодействия человека и компьютера. Стремительное совершенствование нейросетевых архитектур и аппаратного обеспечения, вероятно, позволит в ближайшей перспективе минимизировать технические сложности, обеспечив стабильную работу алгоритмов в различных условиях эксплуатации. Это создаст возможности для массовой интеграции бесконтактного управления в программное обеспечение широкого профиля в качестве эффективного дополнения к традиционным средствам ввода.

Социально-экономическая значимость в данном контексте также крайне велика. Использование стандартных веб-камер для отслеживания взгляда и движений обеспечит полноценный доступ к компьютерам для разнообразного спектра пользователей.

Список литературы

1. Fine-Grained Head Pose Estimation Without Keypoints / N. Ruiz, E. Chong and J. M. Rehg // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2018

2. MPIIGaze: Real-World Dataset and Deep Appearance-Based Gaze Estimation / X. Zhang, Y. Sugano, M. Fritz, A. Bulling [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://arxiv.org/abs/1711.09017 – Дата доступа: 13.02.2026

UDC 004.5

PROSPECTS FOR USING COMPUTER VISION IN COMPUTER CONTROL

Yatskovets M.A., Zavalei V.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Skiba I.G. – Assistant of the department of ECS

Annotation: This article analyzes the potential for using computer vision for PC control. Key interaction methods (gesture control, head and eye tracking) implemented using standard webcams are discussed. The main technical and ergonomic barriers to implementation are identified.

Keywords: neural networks, computer vision, human-machine interaction

УДК 004.032.26

ГИБРИДНАЯ СИСТЕМА СЕМАНТИЧЕСКОГО ПОИСКА ФИЛЬМОВ НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАННЫХ ЭМБЕДДИНГОВ

Захарьев В.А Тоган И.Д.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Захарьев В.А. – канд. тех. наук, доцент кафедры СУ

Аннотация. Представлен обзор архитектурных решений для гибридных систем семантического поиска, предназначенных для поиска фильмов по текстовым запросам. Рассмотрены основные компоненты таких систем, включая слои генерации эмбеддингов (характеристических векторов), хранения и поиска данных. Проведено экспериментальное сравнение базового подхода (TF-IDF + жанры) и предложенной гибридной системы (RoBERTa + TF-IDF + сущности + жанры). Результаты показывают улучшение качества рекомендаций на 40% по метрике Precision@10 для релевантных результатов.

Ключевые слова: гибридный поиск, семантический поиск, эмбеддинги, RoBERTa, pgvector.

Введение. Традиционные системы поиска, основанные на сопоставлении ключевых слов, демонстрируют ограниченную эффективность при работе с семантическими запросами. Современные подходы базируются на использовании методов обработки естественного языка (NLP) и глубокого обучения. Трансформерные модели, такие как BERT и RoBERTa, позволяют кодировать смысл текста в многомерные векторы (эмбеддинги), где расстояние между векторами отражает семантическую близость. Однако использование только текстовых эмбеддингов не позволяет учитывать структурированные характеристики фильма. В данной работе предлагается гибридный подход, объединяющий семантические эмбеддинги описаний фильмов с векторизованными категориальными признаками. Основной вклад работы заключается в разработке архитектуры, демонстрации эффективности гибридного подхода и количественной оценке улучшения качества по-
иска.

Основная часть. В настоящей работе предлагается гибридный подход, объединяющий текстовые эмбеддинги описаний фильмов на основе модели RoBERTa, векторизованные категориальные признаки (жанры, режиссёры, актёры) и кластерные признаки названий фильмов. Комбинированный вектор формируется путём конкатенации всех компонентов. Хранение и поиск векторов реализованы на базе PostgreSQL с расширением pgvector.

Предложенная архитектура состоит из пяти слоёв: слой потребления данных (загрузка датасетов TMDB и топ-100 актёров); слой предобработки данных (фильтрация фильмов, извлечение именованных сущностей с помощью spaCy, кластеризация названий методом DBSCAN); слой генерации эмбеддингов (вычисление гибридных векторов); слой хранения векторов (PostgreSQL с расширением pgvector); слой поиска и визуализации (веб-интерфейс на Flask).

Гибридный эмбеддинг формируется конкатенацией трёх групп признаков: категориальные признаки (сценаристы, режиссёры, кластер названия, извлечённые сущности) преобразуются с помощью TF-IDF с параметрами min_df=2 и max_df=0.2; жанры кодируются с помощью MultiLabelBinarizer; текстовый обзор обрабатывается моделью RoBERTa-base с усреднением выходных эмбеддингов токенов.

Для хранения эмбеддингов используется PostgreSQL с расширением pgvector. Поиск ближайших соседей реализован через оператор косинусного расстояния <=>. Веб-интерфейс на Flask поддерживает поиск по названию фильма. При отсутствии точного совпадения пользователю выводятся подсказки из 20 случайных названий.

Для оценки качества предложенного подхода проведено сравнение двух

конфигураций системы: базовый подход (Baseline) – используются только TF-IDF векторы для категориальных признаков и жанры, без RoBERTa и извлечения сущностей; основная система (Hybrid) – полная версия с RoBERTa, сущностями spaCy и TF-IDF.

Оценка проводилась на 6 фильмах, представляющих различные жанры: анимационные комедии (Finding Nemo, Minions, Khumba), историческая анимация (Pocahontas) и драмы/криминал (American History X, American Gangster). Для каждого фильма оценивались топ-10 рекомендаций по шкале от 0 до 2: 2 балла – фильм очень похож по жанру, тематике, сюжету; 1 балл – частичное пересечение (общий жанр, но разная стилистика); 0 баллов – фильм не похож.

Основные метрики оценки: Precision@10 (хорошие) – доля фильмов с оценкой 2 среди первых 10 рекомендаций; Precision@10 (хорошие+средние) – доля фильмов с оценкой 1 или 2; Средняя релевантность (0–2) – средняя арифметическая оценка по первым 10 рекомендациям.

Результаты для базового подхода представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты базового подхода (TF-IDF + жанры)

P@10 (2)	**P@10 (>=1)**	**Ср. рел.**
0.70	1.00	1.70
0.70	1.00	1.70
0.60	0.90	1.50
0.50	0.80	1.30
0.10	0.70	0.80
0.30	0.60	0.90
0.48	0.83	1.32

Результаты для гибридной системы представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты гибридной системы (RoBERTa + TF-IDF + сущности + жанры)

P@10 (2)	**P@10 (>=1)**	**Ср. рел.**
0.80	1.00	1.80
0.80	1.00	1.80
0.70	1.00	1.70
0.70	0.90	1.60
0.40	0.90	1.30
0.60	0.90	1.50
0.67	0.95	1.62

Сравнение средних значений метрик представлено в таблице 3.

Таблица 3 – Сравнение базового и гибридного подходов

Метрика	**Базовый подход**	**Гибридная система**	**Улучшение**
P@10 (хорошие)	0.48	0.67	40,00%
P@10 (хорошие+средние)	0.83	0.95	14,00%
Средняя релевантность	1.32	1.62	23,00%

Наибольший прирост качества наблюдается для сложных жанров (драма, криминал). Для фильма American History X показатель P@10 (хорошие) увеличился с 0.10 до 0.40, а для American Gangster – с 0.30 до 0.60. Анимационные фильмы изначально демонстрировали высокие результаты, однако гибридная система также обеспечила стабильное улучшение.

Заключение. Разработанная гибридная система позволяет учитывать как семантику текстовых описаний, так и структурированные метаданные фильмов. Экспериментальная оценка на 6 фильмах различных жанров показала улучшение качества рекомендаций на 40% по метрике Precision@10 для релевантных результатов по сравнению с базовым подходом, использующим только TF-IDF и жанры. Наибольший эффект достигнут для сложных жанров (драма, криминал), где добавление семантических эмбеддингов и именованных сущностей

значительно повысило релевантность рекомендаций. Дальнейшие направления развития включают использование более крупных языковых моделей, добавление коллаборативной фильтрации и разработку механизмов объяснения рекомендаций.

Список литературы

1. Devlin, J. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding / J. Devlin, M.-W. Chang, K. Lee, K. Toutanova // Proceedings of NAACL-HLT. – 2019. – P. 4171-4186.

2. Liu, Y. RoBERTa: A Robustly Optimized BERT Pretraining Approach / Y. Liu [et al.] // arXiv preprint arXiv:1907.11692. – 2019.

3. Neumann, M. ScaNN: Efficient Vector Similarity Search / M. Neumann, P. R. King // Proceedings of VLDB. – 2020.

4. Honnibal, M. spaCy: Industrial-strength Natural Language Processing / M. Honnibal, I. Montani // https://spacy.io. – 2017.

5. Johnson, J. pgvector: Open-source vector similarity search for PostgreSQL / J. Johnson // https://github.com/pgvector/pgvector. – 2021.

UDC 004.032.26

HYBRID SEMANTIC SEARCH SYSTEM FOR MOVIES BASED ON COMBINED EMBEDDINGS

Zakharayev V.A. Togan I.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Alekseev V.F. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. An overview of architectural solutions for hybrid semantic search systems designed for movie search based on text queries is presented. The main components of such systems are considered, including the layers of embedding generation, data storage and retrieval. An experimental comparison of the baseline approach (TF-IDF + genres) and the proposed hybrid system (RoBERTa + TF-IDF + entities + genres) is carried out. The results show a 40% improvement in recommendation quality according to the Precision@10 metric for relevant results.

Keywords: hybrid search, semantic search, embeddings, RoBERTa, pgvector.

УДК 621.3.049.77–048.24:537.2

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ КИБЕРФИЗИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ: АРХИТЕКТУРА, МЕТОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Сергиевич А.А, Шабанович Р.А.

Академия управления при Президенте Республики Беларусь, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Шабанович Р.А.

Аннотация. Статья посвящена архитектуре и методам построения интеллектуальных киберфизических систем и цифровых двойников. Рассматриваются вопросы моделирования, применения искусственного интеллекта и обработки данных в реальном времени, а также перспективы их промышленного использования.

Ключевые слова: киберфизические системы, цифровой двойник, машинное обучение, предиктивная аналитика, обработка данных, индустрия 4.0.

Введение. Современный этап технологического развития характеризуется интенсивной цифровой трансформацией промышленности, транспорта и социальной инфраструктуры. Формируется новая технологическая среда, в которой физические процессы тесно интегрируются с вычислительными и коммуникационными технологиями. В таких условиях данные становятся стратегическим ресурсом, а их интеллектуальная обработка – ключевым инструментом принятия управленческих решений.

Особую роль в данных процессах играют киберфизические системы и цифровые двойники, обеспечивающие непрерывную связь между реальными объектами и их виртуальными представлениями. Развитие этих технологий напрямую связано с концепциями Индустрии 4.0, промышленного интернета вещей и интеллектуального производства.

Рост объёмов сенсорных данных, усложнение инженерных систем и необходимость повышения эффективности эксплуатации оборудования требуют внедрения интеллектуальных методов анализа и прогнозирования. Использование облачных и периферийных вычислений позволяет реализовывать обработку данных в реальном времени, обеспечивая адаптивность и устойчивость управления.

Целью работы является систематизация архитектурных моделей, методов моделирования и интеллектуальных алгоритмов, применяемых при создании киберфизических систем и цифровых двойников.

Основная часть. Киберфизическая система представляет собой интегрированную совокупность физических объектов, вычислительных компонентов и коммуникационной инфраструктуры, функционирующих в замкнутом контуре обратной связи. Основной особенностью таких систем является способность осуществлять мониторинг, анализ и управление физическими процессами в режиме реального времени.

В отличие от традиционных автоматизированных систем управления, киберфизические системы обладают возможностями адаптации к изменяющимся условиям эксплуатации, автономного принятия решений и самообучения на основе накопленных данных.

К ключевым свойствам КФС относятся распределённость компонентов, модульность архитектуры, масштабируемость, высокая степень автоматизации и интеграция цифровых моделей с физическими процессами.

Архитектурная модель киберфизических систем. Архитектура КФС является многоуровневой. Физический уровень включает датчики и исполнительные механизмы, обеспечивающие сбор параметров среды. Контроллерный уровень реализует локальное управление технологическими процессами. Сетевой уровень отвечает за передачу данных посредством промышленных протоколов связи. Облачный уровень обеспечивает хранение

информации и выполнение аналитических вычислений. Интеллектуальный уровень реализует алгоритмы анализа данных и поддержки принятия решений.

Важной особенностью архитектуры является наличие сквозных потоков данных, объединяющих все уровни системы. Предварительная обработка информации на периферийных устройствах снижает нагрузку на центральные вычислительные ресурсы и уменьшает задержки передачи данных.

Применение edge- и fog-вычислений позволяет переносить аналитические функции ближе к источникам данных, что повышает устойчивость функционирования распределённых систем.

Цифровой двойник представляет собой виртуальную динамическую модель физического объекта, синхронизированную с реальным прототипом на протяжении всего жизненного цикла. Он обеспечивает непрерывное обновление состояния модели на основе поступающих данных.

Выделяют цифровые двойники компонентов, оборудования, производственных систем и инфраструктурных объектов. Их применение позволяет осуществлять мониторинг состояния, прогнозирование отказов и оптимизацию режимов эксплуатации.

Этапы разработки цифрового двойника. Создание цифрового двойника включает разработку математической модели, интеграцию сенсорных данных, построение алгоритмов анализа, валидацию модели и внедрение в контур управления.

Эффективность цифрового двойника определяется точностью синхронизации с физическим объектом. Для повышения адекватности применяются гибридные подходы, сочетающие физико-математическое моделирование и методы машинного обучения.

Интеллектуализация киберфизических систем основана на применении методов машинного обучения, включая регрессионные модели, алгоритмы классификации, нейронные сети, кластеризацию и методы обнаружения аномалий. Эти подходы позволяют выявлять закономерности функционирования технических систем.

Предиктивная аналитика. Предиктивная аналитика базируется на анализе временных рядов и применяется для прогнозирования технического состояния оборудования. Это позволяет перейти от планового обслуживания к обслуживанию по фактическому состоянию, снижая эксплуатационные затраты и предотвращая аварии.

Обработка потоковых данных. Для обработки потоковых данных требуется минимальная латентность, масштабируемость вычислений и устойчивость к сбоям. Используются распределённые платформы потоковой обработки, обеспечивающие непрерывный анализ информации.

Особое значение приобретают методы глубокого обучения, позволяющие анализировать нелинейные зависимости. Использование рекуррентных моделей повышает точность прогнозирования и раннего обнаружения отклонений.

Интеграция интеллектуальных алгоритмов в контуры управления формирует адаптивные системы, способные автоматически корректировать режимы работы.

Киберфизические системы применяются в промышленности, энергетике, транспортной отрасли и медицине. Они используются для моделирования технологических процессов, оптимизации энергопотребления, мониторинга состояния оборудования и интеллектуального управления сложными объектами.

Информационная безопасность. Интеграция цифровых и физических компонентов усиливает требования к защите информации и устойчивости систем. Применяются криптографические методы, сегментация сетевой инфраструктуры и системы обнаружения аномалий.

Научные проблемы и перспективы развития. Основные научные задачи связаны с повышением точности моделей, снижением вычислительной сложности алгоритмов и стандартизацией обмена данными.

Заключение. Интеллектуальные киберфизические системы и цифровые двойники формируют технологическую основу цифровой экономики и промышленности нового

поколения. Их развитие требует междисциплинарной интеграции методов моделирования, анализа данных и искусственного интеллекта.

Список литературы

1. Lee E.A. Cyber-Physical Systems: Design Challenges.
2. Tao F., Zhang M. Digital Twin Shop-Floor: A New Shop-Floor Paradigm.
3. Grieves M. Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication.
4. Siemens AG. Industrial Digitalization Concepts.
5. IBM Corporation. Digital Twin Solutions Overview.

UDC 621.3.049.77–048.24:537.2

INTELLIGENT CYBER-PHYSICAL SYSTEMS AND DIGITAL TWINS: ARCHITECTURE, METHODS AND DEVELOPMENT PROSPECTS

Serhiyevich A.A., Shabanovich. R.A.

Academy of Public Administration under the President of the Republic of Belarus, Minsk

Shabanovich. R.A.

Annotation. The article discusses the architecture and methods for building intelligent cyber-physical systems and digital twins. Issues of modeling, artificial intelligence application, and real-time data processing are considered, along with prospects for industrial implementation.

Keywords: cyber-physical systems, digital twin, machine learning, predictive analytics, data processing, Industry 4.0.

УДК 004.932:004.75

ОПТИМИЗАЦИЯ ОБЛАЧНЫХ ХРАНИЛИЩ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМОВ ДЕДУПЛИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Вегера К.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Марков А.Н. – магистр технических наук, ст. преподаватель кафедры информатики

Аннотация. Работа посвящена проблеме избыточности данных в облачных сервисах хранения медиаконтента. Предложена архитектура программного комплекса, реализующего механизм дедупликации изображений на основе перцептивного хеширования (dHash). Описан алгоритм взаимодействия клиентской части, базы данных PostgreSQL и объектного хранилища, позволяющий исключить повторную запись визуально идентичных файлов. Приведена методика оценки эффективности сжатия хранилища.

Ключевые слова: облачные вычисления, дедупликация, архитектура ПО, PostgreSQL, оптимизация ресурсов, dHash.

Введение. Современные IT-инфраструктуры сталкиваются с экспоненциальным ростом объемов неструктурированных данных. По статистике, значительную долю дискового пространства занимают дубликаты изображений [1], возникающие при пересылке контента, резервном копировании или незначительном изменении форматов. Классификация моделей облачных вычислений [2] позволяет выделить специализированные сервисы хранения как критически важный компонент IaaS. Традиционные методы дедупликации, основанные на криптографических хешах (MD5, SHA-256), неэффективны для медиаконтента, так как изменение разрешения или метаданных файла приводит к изменению хеш-суммы, что вынуждает систему хранить идентичные по содержанию копии.

Целью работы является проектирование архитектуры облачного сервиса, обеспечивающего минимизацию затрат на хранение данных (IaaS) за счет выявления и исключения нечетких дубликатов.

Основная часть. Для решения задачи предложено использование методики дедупликации на стороне сервера (target-based deduplication) с использованием перцептивных хешей. В качестве базового алгоритма выбран Difference Hash (dHash) [3], который формирует цифровой отпечаток изображения на основе градиентов яркости между соседними пикселями. Процесс генерации хеша dHash состоит из четырех последовательных этапов, каждый из которых направлен на удаление избыточной информации (шума, детализации, цвета):

1 Масштабирование (Resizing). Изображение сжимается до размера 9x8 пикселей (всего 72 пикселя). Использование нечетного количества столбцов (9) необходимо для обеспечения перекрытия при вычислении разницы между соседними точками.

2 Обесцвечивание. Изображение преобразуется в оттенки серого, что позволяет абстрагироваться от цветовой гаммы и сосредоточиться только на структурной информации (форме объектов).

3 Вычисление разницы. Для каждой строки пикселей y вычисляется разница яркости между пикселем x и $x + 1$ пикселем.

4 Построение битовой строки. Если яркость пикселя $P(x) > P(x + 1)$, то бит хеша равен 1, иначе – 0. В результате формируется 64-битное число (8x8), которое является компактным цифровым следом изображения.

Выбор dHash обусловлен его устойчивостью к масштабированию изображения и высокой скоростью генерации (менее 6 мс на изображение), что критически важно для

высоконагруженных систем. Критерием идентичности изображений служит расстояние Хэмминга (d_H). Если $d_H \leq 5$, изображения считаются визуальными копиями.

Разработанное решение базируется на принципе разделения метаданных и бинарных данных (Blob). Логическая схема хранения реализуется с использованием СУБД PostgreSQL и S3-совместимого хранилища. Процесс загрузки файла включает следующие этапы:

1 Генерация отпечатка. Сервис принимает изображение и вычисляет его перцептивный хеш (64-битное число).

2 Поиск в индексе. Выполняется запрос к таблице images_hash в БД PostgreSQL. Благодаря использованию специализированных индексов (GIST/SP-GIST для битовых строк), поиск похожих хешей выполняется за логарифмическое время. Для хранения 64-битных хешей в PostgreSQL используется тип данных bit(64), который позволяет выполнять побитовые операции непосредственно на уровне СУБД, минимизируя передачу данных между приложением и базой. Расстояние Хэмминга между двумя хешами A и B вычисляется как количество единичных битов в результате операции XOR ($A \oplus B$). Для оптимизации выборки на больших объемах данных (миллионы записей) стандартный B-tree индекс неэффективен. Вместо него предлагается использовать специализированные BK-деревья (Burkhard-Keller trees), которые позволяют эффективно отсекать ветви дерева поиска, где расстояние заведомо превышает заданный порог ($threshold$). Это снижает сложность поиска с линейной $O(N)$ до логарифмической $O(log_2 N)$.

3 Принятие решения. Сценарий А (дубликат найден): если в БД найден хеш с $d_H \leq treshold$, физическая загрузка файла в S3 отменяется. В таблице user_files создается новая запись, ссылающаяся на уже существующий file_id. Счетчик ссылок (reference count) для оригинала увеличивается. Сценарий Б (уникальный контент): Файл загружается в S3, ему присваивается уникальный ID, а хеш сохраняется в индексе.

Графически алгоритм работы подсистемы представлен на рисунке 1:

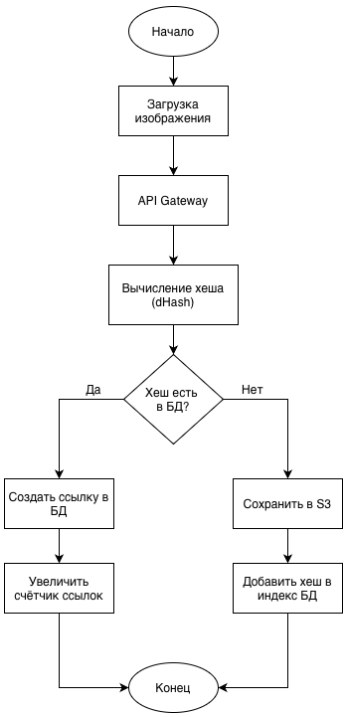


Рисунок 1 – Алгоритм работы подсистемы дедупликации при загрузке данных

Такой подход реализует модель Content-Addressable Storage (CAS), где адресация контента происходит на основе его содержимого, а не имени файла.

При использовании 64-битного хеширования теоретически возможны коллизии, когда разные изображения имеют одинаковый dHash (особенно при сильном размытии или монотонном фоне). Вероятность такого события для фотографий крайне мала (2^{-64}), однако для повышения надежности системы в архитектуру введен механизм верификации. В случае обнаружения дубликата (расстояние Хэмминга равно 0) система выполняет дополнительную проверку: сравнивает размеры файлов (в байтах) и, при необходимости, вычисляет быстрый криптографический хеш (CRC32) для первых 4 КБ файла. Это позволяет с вероятностью, близкой к 100%, исключить ложные срабатывания (False Positives), не прибегая к полному побитовому сравнению файлов.

Эффективность предлагаемой архитектуры оценивается коэффициентом дедупликации (K_{dedup}), который показывает отношение логического объема данных к физическому, и рассчитывается по формуле 1:

$$K_{dedup} = \frac{V_{logical}}{V_{physical}} = \frac{\sum_{i=1}^{N} Size(f_i)}{Size(Unique) + Size(Meta)}, \quad (1)$$

где $V_{logical}$ – суммарный объем файлов, загруженных пользователями, ГБ;

$V_{physical}$ – реально занимаемое место на дисках, ГБ.

Предварительное моделирование на тестовой выборке из 10 000 изображений (включая ресайзы и пересохранения) показало, что внедрение данного алгоритма позволяет достичь коэффициента $K_{dedup} \approx 1.6$, что эквивалентно экономии 30–45% дискового пространства.

Заключение. Предложена архитектура облачного сервиса хранения, использующая алгоритм dHash для оптимизации использования ресурсов. Переход от прямого хранения файлов к системе ссылок на уникальные контентные единицы позволяет существенно снизить требования к инфраструктуре хранения (IaaS) и уменьшить избыточный сетевой трафик, не снижая качество обслуживания пользователей.

Список литературы

1. Армбруст М. Облачные вычисления: взгляд сверху // Коммуникации АСМ. – 2010. – Т. 53, № 4.
2. Вакеро Л. М. Определение и классификация облачных вычислений // Вестн. информатики. – 2011. – Т. 28.
3. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2012.

UDC 004.932:004.75

OPTIMIZATION OF CLOUD DATA STORAGE USING IMAGE DEDUPLICATION ALGORITHMS

Viahera K.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Markov A.N. – Master of Sci. (M. of Sci.), Senior Lecturer at the Department of Informatics

Annotation. The paper considers the problem of data redundancy in cloud media storage services. An architecture of a software complex implementing an image deduplication mechanism based on perceptual hashing (dHash) is proposed. The interaction algorithm between the client part, PostgreSQL database, and object storage, allowing to exclude re-recording of visually identical files, is described. A methodology for assessing storage compression efficiency is presented.

Keywords: cloud computing, deduplication, software architecture, PostgreSQL, resource optimization, dHash.

УДК 004.896:64

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ РЕСУРСОВ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ДОМАШНИХ СИСТЕМАХ

Агапова В.О.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Лихачевский Д.В. – к. т. н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация: Рассматриваются интеллектуальные методы диспетчеризации ресурсов в автоматизированных домашних системах (АДС) на базе IoT. Проводится формализация ресурсов (энергия, вода, вычисления, каналы связи) и постановка задач аллокации и планирования. Анализируются современные подходы: обучение с подкреплением (RL), теоретико-игровые модели и аукционные механизмы. Исследуются вопросы масштабируемости IoT-сетей и кибербезопасности процессов диспетчеризации. Показана перспективность гибридных методов, сочетающих адаптивность RL с устойчивостью игровых равновесий.

Ключевые слова: Автоматизированные домашние системы, диспетчеризация ресурсов, умный дом, обучение с подкреплением, теория игр, аукционные механизмы, масштабируемость, кибербезопасность

Введение. Современное развитие технологий Интернета вещей (IoT) привело к качественному изменению автоматизированных домашних систем (АДС), которые из простых наборов программируемых устройств превращаются в сложные киберфизические комплексы. В таких системах критическую роль играет эффективное управление ограниченными ресурсами – электроэнергией, водоснабжением, вычислительными мощностями и пропускной способностью каналов связи. Традиционные детерминированные алгоритмы диспетчеризации, ориентированные на стационарные режимы работы, не способны адекватно реагировать на динамику потребительского спроса, стохастический характер генерации возобновляемой энергии и гетерогенность парка устройств.

В связи с этим актуальной научно-технической задачей становится разработка интеллектуальных методов диспетчеризации ресурсов, способных адаптироваться к изменяющимся условиям в реальном времени. Перспективными подходами выступают методы обучения с подкреплением (Reinforcement Learning), теоретико-игровые модели и аукционные механизмы, каждый из которых обладает специфическими преимуществами. Однако внедрение таких методов сопряжено с необходимостью решения сопутствующих проблем масштабируемости IoT-инфраструктуры и обеспечения кибербезопасности процессов управления, что требует комплексного подхода к проектированию архитектуры интеллектуального диспетчера.

Основная часть. Автоматизированные домашние системы (АДС), более известные под термином «умный дом», представляют собой интегрированные комплексы инженерного оборудования и программно-аппаратных средств, обеспечивающие автоматическое или автоматизированное управление функциями жилого помещения. Современная АДС объединяет в единую сеть множество разнородных устройств: системы отопления, вентиляции и кондиционирования (HVAC), освещения, контроля доступа, видеонаблюдения, бытовые приборы, а также источники распределенной генерации энергии (солнечные панели, ветрогенераторы) и накопители. Ключевой особенностью таких систем является их способность собирать данные с сенсоров, обрабатывать их и на основе заданных алгоритмов или предиктивных моделей формировать управляющие воздействия на исполнительные устройства, оптимизируя потребление ресурсов и повышая комфорт проживания.

Эволюция АДС неразрывно связана с развитием технологий Интернета вещей (IoT). Если первые поколения систем базировались на централизованных контроллерах с жесткой

логикой и проводными интерфейсами, то современные архитектуры тяготеют к децентрализации, использованию беспроводных протоколов связи (Zigbee, Z-Wave, Wi-Fi, Thread) и облачных платформ для обработки данных. Это привело к экспоненциальному росту количества подключаемых устройств и усложнению внутрисистемных взаимодействий, что, в свою очередь, выдвинуло новые требования к алгоритмам управления. Традиционные детерминированные подходы уступают место интеллектуальным методам, способным адаптироваться к изменяющемуся поведению пользователей и динамике внешней среды, что делает АДС не просто набором автоматизированных функций, а активным киберфизическим объектом, требующим эффективной диспетчеризации своих внутренних ресурсов.

Диспетчеризация ресурсов представляет собой процесс принятия решений о распределении ограниченных мощностей между конкурирующими потребителями или задачами в реальном времени. В условиях динамически изменяющейся среды, стохастического характера поступающих заявок и необходимости соблюдения множества критериев оптимальности классические детерминированные алгоритмы, основанные на жестких правилах или пороговых значениях, демонстрируют недостаточную эффективность. Это обуславливает необходимость применения интеллектуальных методов, способных обучаться на накопленных данных, прогнозировать состояние среды и адаптировать стратегии управления к изменяющимся условиям без прямого программирования каждого возможного сценария.

В современной теории и практике управления ресурсами наибольший интерес представляют три класса интеллектуальных подходов. Методы обучения с подкреплением (Reinforcement Learning, RL) позволяют агенту-диспетчеру вырабатывать оптимальную политику управления путем взаимодействия со средой и максимизации накопленного вознаграждения, что особенно эффективно в задачах с долгосрочными последствиями принимаемых решений. Теоретико-игровые модели (game theory) рассматривают потребителей ресурса как рациональных агентов, вступающих в кооперативные или конкурентные взаимодействия, что позволяет находить равновесные состояния распределения без необходимости централизованного сбора всей информации. Аукционные механизмы (auction-based dispatch) предлагают рыночный подход к аллокации дефицитных ресурсов, где агенты формируют заявки с указанием цены или приоритета, а диспетчер на основе этих заявок определяет победителей и итоговое распределение, обеспечивая экономическую эффективность и прозрачность процесса.

Каждый из указанных подходов обладает специфическими преимуществами и ограничениями. Методы RL демонстрируют высокую адаптивность, но требуют значительного времени на обучение и чувствительны к изменению условий среды. Теоретико-игровые модели гарантируют сходимость к равновесию, однако опираются на предположения о рациональности агентов, которые не всегда выполняются на практике. Аукционные механизмы обеспечивают прозрачное ценообразование, но могут создавать вычислительную нагрузку при большом количестве участников. В связи с этим актуальным направлением исследований является разработка гибридных методов, объединяющих адаптивность обучения с подкреплением, устойчивость игровых равновесий и экономическую эффективность аукционных механизмов. [1] [2]

Формализация ресурсов – это процесс их математического описания, необходимый для построения алгоритмов диспетчеризации. Она включает определение типов ресурсов, их параметров, ограничений и динамики изменения.

В автоматизированных домашних системах подлежат формализации четыре основные категории:

1 Энергия: электрическая мощность потребителей (освещение, климатическая техника, бытовые приборы), генерация от солнечных панелей, заряд/разряд накопителей.

2 Вода: объем и скорость потока для водоснабжения, сантехники, систем полива.

3 Каналы связи: пропускная способность беспроводных и проводных интерфейсов, обеспечивающих обмен данными между устройствами IoT.

4 Вычислительные мощности: процессорное время и память контроллеров, шлюзов, граничных узлов, задействованных в обработке данных.

Каждый ресурс описывается кортежем параметров: текущее значение, максимальный объем, скорость потребления/генерации, временные окна доступности, приоритеты потребителей. Учитываются также взаимосвязи между ресурсами (например, зависимость энергопотребления от вычислительной нагрузки). Формализованное представление создает основу для постановки задач оптимизации и применения интеллектуальных методов управления. [3]

Задачи распределения ресурсов в автоматизированных домашних системах представляют собой математическую основу процессов диспетчеризации и подразделяются на два взаимосвязанных класса: аллокация (allocation problem) и планирование (scheduling). Аллокация решает проблему статического или квазистатического распределения ограниченного объема ресурса между множеством потребителей в фиксированный момент времени. В контексте «умного дома» типичными примерами являются распределение лимита вводной мощности между одновременно работающими электроприборами, выделение пропускной способности канала связи для устройств Интернета вещей или распределение запаса воды из накопительного бака между различными точками водопотребления. Математически задачи аллокации обычно формулируются как задачи линейного или целочисленного программирования, где целевая функция отражает приоритеты потребителей или критерии экономической эффективности.

Планирование (scheduling), в отличие от аллокации, имеет динамическую природу и направлено на определение оптимальной временной последовательности выполнения задач с учетом прогнозируемого поступления ресурсов и изменения потребительского спроса. Характерными примерами выступают смещение работы энергоемких приборов (стиральная машина, посудомоечная машина, электрокотел) на периоды минимальных тарифов или максимальной генерации от солнечных панелей, составление расписания зарядки электромобиля, а также циклическое управление системами отопления и кондиционирования. Планирование относится к классу задач теории расписаний и решается методами динамического программирования или эвристическими алгоритмами. Взаимосвязь этих двух классов задач очевидна: планирование определяет, какие устройства будут претендовать на ресурс в каждый момент времени, а аллокация устанавливает конечные пропорции распределения, что в совокупности образует ядро интеллектуальной диспетчеризации. [4]

Обучение с подкреплением представляет собой класс методов машинного обучения, в котором агент обучается принимать решения путем взаимодействия со средой. В контексте диспетчеризации ресурсов агент-диспетчер последовательно наблюдает состояние системы (потребление, генерацию, приоритеты задач), выбирает действия (распределение ресурсов, смещение задач во времени) и получает вознаграждение, отражающее эффективность принятых решений – например, минимизацию затрат или максимизацию комфорта. Цель агента – выработать политику, максимизирующую накопленное вознаграждение в долгосрочной перспективе.

Ключевым преимуществом RL является способность адаптироваться к изменяющимся условиям без явного программирования всех возможных сценариев. Алгоритмы Q-learning и Deep Q-Networks (DQN) позволяют работать с большими пространствами состояний, характерными для автоматизированных домашних систем с множеством устройств. Методы обучения с подкреплением особенно эффективны для задач планирования, где последствия решений проявляются не мгновенно, а распределены во времени – например, при оптимизации работы накопителей энергии или управлении климатическими системами с учетом тепловой инерции здания. [5] [6]

Масштабируемость является критическим требованием к современным автоматизированным домашним системам, поскольку количество подключаемых устройств неуклонно растет, а архитектура должна сохранять работоспособность и эффективность при этом росте. Анализ масштабируемости IoT-сети включает оценку способности системы

обрабатывать возрастающий объем трафика, поддерживать устойчивое соединение для всех устройств и своевременно доставлять команды управления при увеличении числа узлов. Основными ограничивающими факторами выступают пропускная способность каналов связи, вычислительная мощность контроллеров и шлюзов, а также задержки при передаче данных. В централизованных архитектурах с ростом устройств резко возрастает нагрузка на единый центр обработки, что создает риск отказов и требует перехода к децентрализованным или гибридным моделям с распределенной обработкой данных на граничных узлах. Дополнительно масштабируемость оценивается с точки зрения вычислительной сложности алгоритмов диспетчеризации: некоторые интеллектуальные методы (например, теоретико-игровые модели или аукционы) могут демонстрировать экспоненциальный рост требуемых вычислений при увеличении числа агентов, что ограничивает их применимость в крупных системах без предварительной оптимизации. [7]

Кибербезопасность процессов диспетчеризации ресурсов в автоматизированных домашних системах представляет собой критически важный аспект, поскольку нарушение штатного режима управления может привести не только к экономическому ущербу, но и к созданию угроз для жизнеобеспечения и безопасности проживающих. Диспетчер, принимающий решения о распределении энергии, воды или доступе к устройствам, становится привлекательной целью для злоумышленников, стремящихся получить контроль над инфраструктурой умного дома. Основные векторы атак включают перехват и подмену управляющих команд при передаче по каналам связи, нарушение целостности данных телеметрии от сенсоров (на основе которых диспетчер принимает решения), а также атаки типа «отказ в обслуживании» (DoS), направленные на перегрузку шлюзов и контроллеров с целью парализации процессов управления.

Особую уязвимость создает гетерогенность устройств и протоколов связи в современных IoT-системах, где наличие слабозащищенных узлов (например, недорогих датчиков с ограниченными вычислительными ресурсами) может стать точкой входа для компрометации всей системы диспетчеризации. Дополнительную сложность вносит необходимость обеспечения безопасности в реальном времени: алгоритмы обнаружения вторжений должны работать с минимальными задержками, чтобы не влиять на циклы управления. Методы обеспечения кибербезопасности включают шифрование каналов управления и телеметрии, многофакторную аутентификацию устройств при подключении к сети, сегментацию IoT-инфраструктуры для изоляции критических подсистем, а также применение поведенческого анализа и методов машинного обучения для обнаружения аномалий, которые могут свидетельствовать о вторжении, компрометации устройств или некорректной работе самого диспетчера вследствие внешнего воздействия. [8]

Заключение. Эволюция автоматизированных домашних систем требует перехода от детерминированных алгоритмов к интеллектуальным методам диспетчеризации ресурсов – обучению с подкреплением, теоретико-игровым моделям и аукционным механизмам. Формализованы основные типы ресурсов (энергия, вода, каналы связи, вычислительные мощности) и задачи их распределения (аллокация и планирование). Отдельное внимание уделено проблемам масштабируемости IoT-сетей и кибербезопасности процессов управления, которые являются ключевыми ограничениями при внедрении интеллектуальных диспетчеров в реальных «умных домах».

Список литературы

1. Новости Интернета вещей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://iot.ru/wiki/umnyy-dom

2. Умный дом будущего: новые технологии и перспективы на ближайшие годы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.computerra.ru/303162/umnyj-dom-budushhego-novye-tehnologii-i-perspektivy-na-blizhajshie-gody/

3. ГОСТ Р ИСО/МЭК 30100-1-2017 «Информационные технологии. Менеджмент ресурсов домашних сетей. Часть 1. Требования» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://files.stroyinf.ru/cat0/2315-184.htm

4. Системы управления энергопотреблением в жилых домах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://irepository.uniten.edu.my/entities/publication/ad7e733a-a0bf-41b0-802c-991c3326c0d7

5. Динамическое планирование работы бытовой техники и управление энергопотреблением в «умных домах» с использованием методов адаптивного обучения с подкреплением [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.nature.com/articles/s41598-025-08125-9

6. Использование обучения с подкреплением (RL) для предотвращения тупиковых ситуаций в системах с общими ресурсами [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://libeldoc.bsuir.by/handle/123456789/61100

7. Edge AI for SD-IoT: A Systematic Review on Scalability and Latency [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.mdpi.com/2624-831X/7/1/23

8. Рекомендации по обеспечению кибербезопасности умного дома [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.cepro.com/news/best-practices-for-smart-home-cybersecurity/134789/

UDC 004.896:64

INTELLIGENT METHODS OF RESOURCE DISPATCHING IN AUTOMATED HOME SYSTEMS

Agapova V.O.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Likhachevsky D.V.. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation: This paper examines intelligent resource dispatching methods in IoT-based automated home systems (AHS). Resoes (energy, water, computing, communication channels) are formalized, and allocation and scheduling problems are defined. Modern approaches, including reinforcement learning (RL), game-theoretic models, and auction mechanisms, are analyzed. Issues of IoT network scalability and dispatch process cybersecurity are explored. The potential of hybrid methods combining the adaptability of RL with the stability of game equilibria is demonstrated.

Keywords: AHS, resource dispatching, smart home, reinforcement learning, game theory, auction mechanisms, scalability, cybersecurity

УДК 004.923:004.8

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ РАБОТЫ АЛГОРИТМОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Кухто В.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Василькова А.Н. – ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. Стремительное развитие искусственного интеллекта сопровождается проблемой непонимания их внутренней логики. Сложные нейросетевые модели остаются непрозрачными, что порождает риски в области безопасности, этики и доверия. Визуализация помогает исследовать и понять работу алгоритмов искусственного интеллекта.

Ключевые слова: искусственный интеллект, визуализация, алгоритм, нейронная сеть, иммерсивная визуализация, модель.

Введение. Стремительное развитие искусственного интеллекта (ИИ) стало цифровым двигателем современности. Технологии ИИ оказывают существенное влияние на все сферы человеческой деятельности. Вместе с тем темпы внедрения ИИ-решений существенно опережают возможности понимания механизмов их функционирования [1]. Современные нейронные сети зачастую характеризуются как «чёрные ящики»: их внутренняя логика принятия решений остаётся нераскрытой даже для разработчиков систем, что порождает риски в области безопасности, этики, доверия. Отсутствие прозрачности затрудняет прогнозирование поведения модели в нестандартных ситуациях. В результате возникают трудности внедрения ИИ-решений в различные сферы, так как невозможно гарантировать отсутствие скрытых ошибок в работе алгоритма. Данная проблема ставит серьезный вопрос: «Как работает искусственный интеллект?».

Основная часть. Визуализация работы алгоритмов искусственного интеллекта – это фундамент понимания их внутреннего устройства. Правильно построенные структурные диаграммы, графы вычислений (рисунок 1), дендрограммы, тепловые карты позволяют визуализировать абстрактные математические концепции и сделать их доступными для широкого круга специалистов. Перечисленные двумерные методы визуализации, являясь плоскими и статичными, не передают топологию связей между нейронами и слоями, динамику распространения и масштаб параметров. Это означает, что разработчик видит архитектуру, но не видит процесса обучения: например, как отдельные нейроны активируются в ответ на различные входные данные.

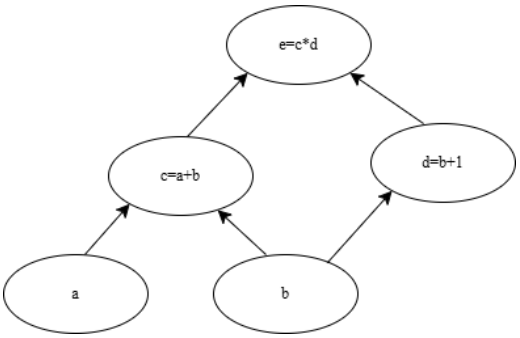


Рисунок 1 – Граф вычислений

Для решения проблем непонимания работы алгоритмов машинного обучения сегодня разработано множество инструментов и методов, выходящих за рамки статичных схем. Например, для преодоления описанных выше ограничений предлагается следующий подход:

иммерсивная научная визуализация внутренних пространств искусственного интеллекта в средах виртуальной (VR) и дополненной (AR) реальности. Преимуществом такой визуализации является интерактивность. Пользователь может «заглянуть» внутрь нейрона, получив информацию о типах входных данных, динамически изменять входные параметры, выявлять ложные корреляции [2].

Разнообразные способы визуализации признаков позволяют более точно определить, что именно активирует нейрон, проверять прогнозы относительно того, какие входные сигналы будут активировать нейрон.

Для визуализации алгоритмов нейронных сетей существует множество решений. Например, иммерсивная визуализация данных Google Experiments, где можно визуализировать данные в объемной форме [3].

На рисунке 2 можно увидеть, как нейронные сети формируют свое понимание изображений.

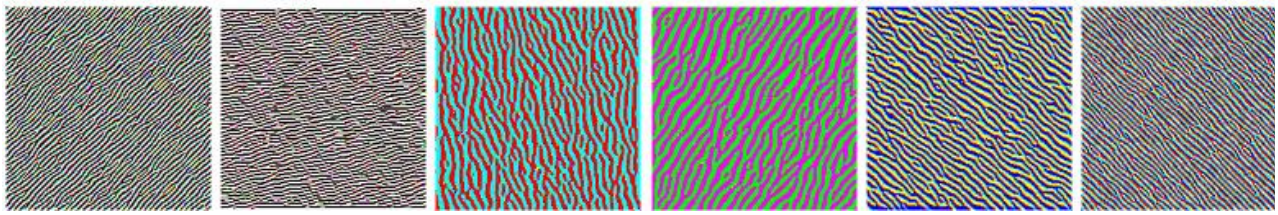


Рисунок 2 – Ребра (слой conv2d0)

Для образовательных целей может быть использован инструментарий на базе TensorFlow Embedding Projector, позволяющий в интерактивном режиме исследовать многомерные пространства признаков [4]. Он дает возможность визуализировать 10 000 векторов word2vec, спроецированных в трехмерное пространство с использованием методов снижения размерности. Пользователю предоставляется возможность анализировать ближайших соседей, наблюдать семантические связи между словами, изучать кластеризацию данных в реальном времени, взаимодействуя с трехмерной моделью.

Такой же подход может быть применен к визуализации набора рукописных цифровых данных MNIST (рисунок 3), где каждое изображение проецируется в пространство объекта, а точки заменяются миниатюрами самих цифр, что позволяет визуально оценить, как нейронная сеть группирует визуально похожие образцы [5]. В результате разработчик может обнаружить закономерности в ошибках классификации: например, увидеть, как алгоритм путает графически схожие «5» и «6», или выявить аномальные экземпляры.

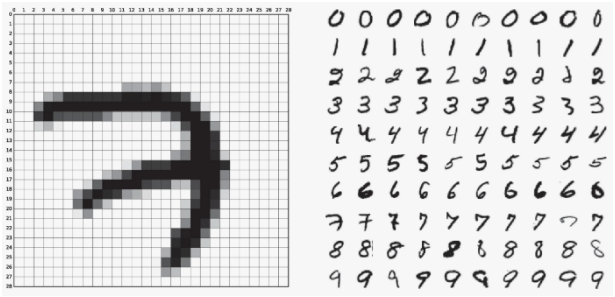


Рисунок 3 – Примеры рукописных цифр из обучающей выборки MNIST

Такая визуализация ценна для анализа качества обученной модели и выявления систематических ошибок, для получения представления о том, какие именно признаки усваивает сеть и где проходят границы принятия решений.

На практике ранее описанные методы визуализации находят прямое применение. В медицине врач-радиолог, используя установку с AR-приложением, может направить камеру

на КТ-снимок и увидеть тепловую карту, выделяющую подозрительную область. Дополнительное цветовое кодирование может отображать динамику изменений состояния здоровья пациента (например, при сравнении с предыдущими снимками пациента, где синим отмечены стабильные области, а красным – участки с негативной динамикой).

Студент, изучающий машинное обучение, может в интерактивном VR-симуляторе поместить любые данные на входную плоскость визуализированной сети и наблюдать, как данные проходят через фильтры и слои.

Описанные иммерсивные среды уже используются разработчиками и исследователями. Разработчик может визуально осмотреть трехмерный граф вычислений, приблизить интересующий участок и проверить, как проходят сигналы через отдельные нейроны. Это позволяет быстро находить неработающие элементы сети и исправлять ошибки еще до того, как начнется дорогостоящее обучение модели [6].

Заключение. Визуализация алгоритмов искусственного интеллекта – это не просто эффективный способ показать сложные вычисления. Это помогает исследовать и понять работу алгоритмов искусственного интеллекта, что является критически необходимым для понимания внутренней логики нейронных сетей. Без визуализации многие процессы остаются абстрактными математическими конструкциями, доступными лишь узким специалистам. Трехмерные графы вычислений, тепловые карты активности и иммерсивные среды превращают нейросети из «черного ящика» в наблюдаемую и изучаемую систему. По мере усложнения моделей роль визуализации будет только возрастать, становясь неотъемлемой частью рабочего процесса при создании и анализе различных систем искусственного интеллекта. Визуализация может стать ключевым инструментом в понимании работы алгоритмов, позволяя не просто наблюдать за результатом, но и анализировать причинно-следственные связи внутри модели.

Список литературы

1 Харбанс, Р. Грокаем алгоритмы искусственного интеллекта / Р. Харбанс ; пер. с англ. А. Киселёва. – СПб. : Питер, 2023. – 368 с.: ил. – (Серия «Библиотека программиста»). – ISBN 978-5-4461-2924-9.

2. Визуализация функций [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://distill.pub/2017/feature-visualization/. Дата доступа: 10.02.2026.

3. Experiments with Google: Fractal [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://experiments.withgoogle.com/search?q=Fractal. Дата доступа: 10.02.2026.

4. Встраивания: интерактивные упражнения [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://developers.google.com/machine-learning/crash-course/embeddings/interactive-exercises?hl=ru. Дата доступа: 24.02.2026.

5. База данных MNIST с рукописными цифрами [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://learn.microsoft.com/ru-ru/azure/open-datasets/dataset-mnist. Дата доступа: 24.02.2026.

6. Машинное обучение [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://education.yandex.ru/handbook/ml/article/mashinnoye-obucheniye. Дата доступа: 24.02.2026.

UDC 004.923:004.8

VISUALIZATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE ALGORITHMS

Kukhta V.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Vasilkova A.N. – Senior Lecturer at the Department of EPE

Annotation. The rapid development of artificial intelligence is accompanied by a lack of understanding of its internal logic. Complex neural network models remain opaque, posing risks in terms of security, ethics, and trust. Visualization helps you explore and understand how artificial intelligence algorithms work.

Keywords: artificial intelligence, visualization, algorithm, neural network, immersive visualization, model.

УДК 004.932:628.472.3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ТЕХНОЛОГИЯХ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ И ПРОИЗВОДСТВА RDF-ТОПЛИВА

Гурман В.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Ильясова М.С. – магистр, ассистент кафедры ИПиЭ

Аннотация. Статья посвящена всестороннему техническому анализу применения методов искусственного интеллекта, прежде всего компьютерного зрения и нейросетевых алгоритмов, в технологиях переработки твердых коммунальных отходов и производства RDF-топлива в Республике Беларусь. Рассматриваются нормативные и стратегические предпосылки модернизации отрасли, физико-химические характеристики RDF, требования к его качеству, архитектура интеллектуальных сортировочных линий, сенсорные системы и выбор нейросетевых моделей для классификации материалов в реальном времени. Приведены сравнительные характеристики RDF и традиционных энергоносителей, проанализирована мировая практика внедрения ИИ в отрасли и дана оценка экономической и экологической эффективности подобных решений.

Ключевые слова: искусственный интеллект, RDF-топливо, компьютерное зрение, сортировка отходов, нейросети, NIR-спектрометрия, аналитика данных, экономика замкнутого цикла

Введение. В рамках Национальной стратегии развития экономики замкнутого цикла Республики Беларусь до 2035 года поставлена задача достичь 90 % повторного использования твердых коммунальных отходов, что требует модернизации сортировочных мощностей и внедрения интеллектуальных систем автоматизации [1]. Традиционные методы сортировки (механические сепараторы, магнитные установки, ручной труд) не обеспечивают требуемой точности при работе со смешанными полимерными и комбинированными материалами. При производстве RDF-топлива это критично: недостаточная точность сортировки снижает его теплотворную способность и стабильность состава, увеличивая экологические риски.

Основная часть. В Республике Беларусь отрасль обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО) находится в стадии активной цифровой и технологической трансформации. Реализуется система раздельного сбора вторичных материальных ресурсов, проводится реконструкция мусоросортировочных комплексов и увеличиваются мощности переработки. В частности, модернизируются крупные объекты, такие как сортировочные линии на полигоне «Тростенецкий» в Минске, проектной мощностью до 600 тыс. тонн в год [2].

На отдельных предприятиях, включая завод вторичных ресурсов «Восточный» (Могилевская область), внедряются пилотные решения по автоматизированной сортировке полимерных отходов с использованием компьютерного зрения. Параллельно развивается направление производства RDF-топлива для цементной промышленности и энергетических установок, где оно используется как частичный заменитель угля.

Нормативные требования к RDF в Республике Беларусь ориентированы на обеспечение стабильной низшей теплоты сгорания, ограничение содержания хлора (как правило, не более 1 %), снижение зольности и минимизацию примесей тяжелых металлов [3]. Соответствие этим параметрам напрямую зависит от эффективности автоматической селекции фракций.

RDF представляет собой твердое восстановленное топливо, получаемое из высококалорийных фракций твердых коммунальных отходов путем удаления инертных и опасных компонентов, последующего измельчения, сушки и гомогенизации. Основу RDF составляют полимерные материалы, текстиль, бумага и другие горючие фракции.

Сравнительный анализ энергетических характеристик RDF и традиционных видов топлива представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики RDF и традиционных энергоносителей

Показатель	RDF	Каменный уголь	Природный газ
Низшая теплота сгорания, МДж/кг	14–25	20–30	~50
Влажность, %	≤20	–	–
Зольность, %	15–30	12–25	практически отсутствует
Содержание хлора, %	≤1	–	практически отсутствует
Содержание серы, %	≤0,5	≤2	–

Ключевой технологической задачей является исключение ПВХ и других хлорсодержащих пластиков, поскольку их сгорание приводит к образованию коррозионно-активных соединений и токсичных выбросов. Таким образом, качество RDF напрямую определяется точностью автоматизированной сортировки. Интеллектуальная линия сортировки включает сенсорный блок, вычислительный блок, систему исполнительных механизмов и программный модуль искусственного интеллекта. Сенсорный блок формируется на основе комплекса датчиков. В его состав входят RGB-камеры высокого разрешения, обеспечивающие получение базовой визуальной информации о цвете и текстуре объектов, и NIR-спектрометры диапазона 900–1700 нм.

Вычислительный блок реализуется на базе графических процессоров (GPU) или FPGA-платформ, обеспечивающих выполнение нейронных сетей в режиме реального времени с задержкой менее 100 мс. Программный модуль ИИ включает модели сегментации и классификации, определяющие тип материала, вероятность принадлежности к целевой фракции, координаты и скорость движения объекта. Система исполнительных механизмов (пневмосепараторы, механические отбойники и роботизированные манипуляторы) осуществляет физическое разделение фракций в соответствии с принятым решением.

Алгоритм функционирования системы включает последовательные этапы мультисенсорного сканирования, предобработки данных, сегментации объектов, классификации по вероятностным признакам, расчета траектории движения и определения момента срабатывания исполнительного механизма. Такая архитектура минимизирует ложные срабатывания и повышает долю целевых фракций в конечном топливе.

Для реализации автоматической сортировки применяются современные модели глубокого обучения. Алгоритмы семейства YOLO (версии v5–v8) обеспечивают детекцию объектов в реальном времени и подходят для обработки конвейерного потока со скоростью реакции порядка 50–100 мс. Mask R-CNN используется для точной сегментации перекрывающихся объектов. Сверточные нейронные сети типа ResNet и EfficientNet применяются для высокоточной классификации на основе RGB- и NIR-данных.

Международный опыт демонстрирует значительный эффект от внедрения интеллектуальных систем. Норвежская компания TOMRA сообщает о достижении точности разделения пластиков до 95 % при использовании нейросетевых алгоритмов в оптических сепараторах [4]. Финская компания ZenRobotics внедрила роботизированные манипуляторы с ИИ-классификацией, обеспечивающие до 3000 операций сортировки в час с точностью позиционирования ±5 мм [5]. Американская компания AMP Robotics демонстрирует повышение качества сортировки пластиковых фракций на 20–30 % при сокращении ручного труда до 70–80 % [6]. В цементной промышленности Японии использование компьютерного зрения позволило снизить содержание ПВХ в RDF на 30–40 % по сравнению с традиционными линиями [7]. Применение глубоких нейросетей увеличивает точность классификации отходов в среднем на 12–18 % по сравнению с оптическими методами без интеллектуальной обработки данных [8].

Применение искусственного интеллекта в автоматизации сортировки позволяет увеличить долю качественного RDF на 15–25 %, снизить затраты на ручной труд на 60–80%, сократить операционный цикл сортировки на 30–40 % [9].

Заключение. Анализ технических требований, состояния отрасли в Республике Беларусь и мировой практики показывает, что искусственный интеллект является ключевым технологическим драйвером модернизации системы переработки отходов и производства RDF-топлива. Интеграция мультисенсорных систем (RGB + NIR + 3D), высокопроизводительных нейросетевых архитектур и аналитики данных позволяет существенно повысить точность сортировки, увеличить долю качественного RDF,

минимизировать влияние человеческого фактора и обеспечить экономическую и экологическую устойчивость отрасли. Это формирует основу для перехода к полностью цифровым и адаптивным производственным системам переработки отходов.

Перспективы развития связаны с внедрением edge-AI, расширением использования IoT-датчиков, обучением моделей на локальных белорусских данных и стандартизацией национальных требований к контролю качества RDF. Комплексное и технически обоснованное внедрение ИИ-технологий позволит Республике Беларусь достичь стратегических целей в области экономики замкнутого цикла и устойчивого промышленного развития.

Список литературы

1. Национальная стратегия развития экономики замкнутого цикла до 2035 года. – Утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь, 20.12.2023, № 521. – Минск, 2023.

2. Официальный сайт ГУ «Оператор вторичных материальных ресурсов» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://vtoroperator.by. – Дата доступа: 04.03.2026.

3. ТКП 17.11-08-2020 (02120) Охрана окружающей среды и природопользование. Отходы. Топливо из отходов (RDF). Технические условия. – Минск: Госстандарт, 2020.

4. TOMRA Sorting Solutions. Case Study: Increased Plastic Purity with AI [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.tomra.com. – Date of access: 04.03.2026.

5. ZenRobotics. ZenRobotics 4.0: Technical Specifications [Electronic resource]. – Mode of access: https://zenrobotics.com. – Date of access: 04.03.2026.

6. AMP Robotics. 2024 Impact Report [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.amprobotics.com. – Date of access: 04.03.2026.

7. Suzuki, T. Application of AI Vision Systems in Japanese Cement Industry for RDF Quality Improvement / T. Suzuki, K. Tanaka // Journal of Material Cycles and Waste Management. – 2023. – Vol. 45, № 3. – P. 215–223.

8. Wang, L. Deep Learning for Waste Classification: A Comprehensive Review / L. Wang, Y. Zhang // IEEE Transactions on Industrial Informatics. – 2024. – Vol. 20, № 2. – P. 1542–1557.

9. Wilts, H. Artificial Intelligence in the Sorting of Municipal Waste as an Enabler of the Circular Economy / H. Wilts, B. R. García, R. G. Gómez // Resources. – 2021. – Vol. 10, № 4. – Article 28.

UDC 004.932:628.472.3

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN WASTE RECYCLING TECHNOLOGIES AND RDF FUEL PRODUCTION

Gurman V.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Ilyasova M.S. – Master of Sci., assistant of the Department of EPE

Annotation. The article provides a comprehensive technical analysis of artificial intelligence (AI) applications, primarily computer vision and neural network algorithms, in municipal solid waste (MSW) recycling technologies and refuse-derived fuel (RDF) production in the Republic of Belarus. The study examines the regulatory and strategic prerequisites for industry modernization, the physicochemical characteristics of RDF, and its quality requirements. Furthermore, it details the architecture of intelligent sorting lines, sensor systems, and the selection of neural network models for real-time material classification. The paper presents a comparative analysis of RDF versus traditional energy sources, reviews global practices of AI implementation in the industry, and evaluates the economic and environmental efficiency of such solutions.

Keywords: artificial intelligence, RDF fuel, computer vision, waste sorting, neural networks, NIR spectrometry, data analytics, circular economy.

УДК 004.774:331.45

ПРЕДИКТИВНАЯ АНАЛИТИКА В ПРЕДУПРЕЖДЕНИИ АВАРИЙ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

Калугина В.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Ильясова М.С. – магистр, ассистент кафедры ИПиЭ

Аннотация. Статья посвящена применению предиктивной аналитики для предотвращения аварий на промышленных предприятиях. Рассматриваются технологические основы подхода, включая IoT-датчики, Big Data и машинное обучение, а также роль цифровых двойников на примерах в металлургии, авиации, газоснабжении и машиностроении.

Ключевые слова: предиктивная аналитика, промышленная безопасность, машинное обучение, IoT, цифровые двойники, мониторинг оборудования

Введение. Понятие «Промышленная авария» подразумевает возникновение чрезвычайной ситуации на предприятии, ставшей причиной остановки или выхода из строя производственного оборудования [1]. Подобные техногенные происшествия не только ведут к разрушению инфраструктуры предприятия, но и негативно сказываются на здоровье и жизни людей. Из-за внезапных поломок и простоев оборудования могут останавливаться целые производственные линии, что приводит к значительным убыткам для компаний. Классическая система планово-предупредительного ремонта (ППР), привязанная к определенному графику, всё чаще демонстрирует свою низкую эффективность. Она не учитывает реальное техническое состояние оборудования, что приводит либо к «переремонту» (меняются еще исправные детали, появляются неоправданные траты), либо к большому количеству незапланированных работ. Предиктивная аналитика способна исправить упомянутую выше ситуацию, позволяя перейти от обслуживания по графику к обслуживанию по фактическому состоянию оборудования.

Основная часть. Предиктивная аналитика (Predictive Analytics) – это процесс анализа данных и использования статистических алгоритмов и машинного обучения для прогнозирования будущих событий или результатов [2]. Система собирает потоковые данные, которые достигают сотни параметров в секунду, с контроллеров и датчиков и прогнозирует отказы оборудования на основе полученной информации.

Технологически предиктивная аналитика основывается на трёх ключевых компонентах:

–IoT-датчиках, непрерывно собирающих данные о вибрации, температуре, давлении, токе и других параметрах работы оборудования;

– инфраструктуре Big Data, способной обрабатывать миллиарды записей;

– моделе машинного обучения, выявляющей неочевидные для человека закономерности и аномалии.

Значимое место занимают цифровые двойники – виртуальные копии оборудования, получающие данные с объектов в режиме реального времени. На таких моделях можно тестировать сценарии «что, если» без риска для производства, а также обучать персонал действиям в аварийных ситуациях.

Работа цифрового двойника строится на последовательном взаимодействии нескольких компонентов. Сначала датчики на оборудовании фиксируют такие параметры его работы, как температуру, вибрацию, давление, нагрузку. Эти данные передаются в систему сбора и обработки (IoT-платформу), где очищаются и агрегируются. Затем анализируются ML-модулем, который прогнозирует возможные отклонения, и используются цифровым двойником для формирования отчётов и предупреждений, которые инженер получает в виде

панели мониторинга или уведомления о потенциальной неисправности. На рисунке 1 представлено описанное взаимодействие компонентов.



Рисунок 1 – Схема взаимодействия компонентов предиктивной аналитики

Результативность такого подхода подтверждается успешным внедрением предиктивной аналитики в промышленности по всему миру. На металлургическом заводе – ведущем производителе сплавов – система DataMind AI от Razor Labs в марте 2025 года зафиксировала повышенную осевую вибрацию на мощном агло-вентиляторе. Традиционные средства виброконтроля отклонений не выявили, однако алгоритмы машинного обучения продолжили повышать уровень критичности агрегата. Принудительная остановка обнаружила два скрытых дефекта: несоосность муфты и дисбаланс рабочего колеса. Причинами стали незакрытый кожух всасывания после ремонта и повреждение лопаток от удара посторонним предметом. Благодаря ранней диагностике на основе ИИ ремонтная бригада вмешалась до наступления отказа, что позволило избежать разрушения узла. Предотвращённый ущерб оценивается в 336 тысяч долларов [3].

Ещё одним ярким примером служит опыт корпорации General Electric – одного из пионеров внедрения цифровых двойников. В авиации и энергетике GE создаёт виртуальные копии двигателей и турбин, которые получают данные с сотен датчиков в реальном времени. Это позволяет не только прогнозировать износ и предотвращать отказы, но и тестировать новые конструкторские решения без риска для реального оборудования. Сквозное применение цифровых двойников помогло клиентам GE сэкономить 1,6 млрд долларов, сократить производственные отходы на 75% и снизить эксплуатационные затраты на 30% [4]. Данный случай показывает, что предиктивная аналитика способна работать не только как система раннего оповещения об авариях, но и как комплексный инструмент оптимизации производства.

Технологии предиктивной аналитики активно развиваются и в Беларуси. Одним из наиболее масштабных проектов стало создание цифрового двойника газораспределительной системы страны, реализованное ГПО «Белтопгаз» совместно с Полоцким государственным университетом имени Евфросинии Полоцкой. Разработка представляет собой комплекс программных средств, интегрированных с реальными технологическими процессами газоснабжающих организаций. На базе университета развернута специализированная лаборатория, где технологические процессы воспроизведены в условиях, идентичных реальным [5]. Это позволяет не только моделировать состояние газопроводов и оборудования в режиме реального времени, но и формировать научно-методическую базу для прогнозирования аварийности на объектах газоснабжения.

В машиностроительной отрасли предприятие ОАО «БЕЛАЗ» разработало и внедрило собственную интеллектуальную систему мониторинга (IMS – Intelligent Monitoring System), которая устанавливается на самосвалы особо большой грузоподъемности еще на сборочном конвейере. Система позволяет полностью отслеживать и контролировать техническое состояние парка самосвалов, оценивать эффективность работы техники, основываясь на

данных телеметрии и GPS-позиционирования, обнаруживать нарушения эксплуатации и прогнозировать выход из строя указанных узлов в привязке к местоположению и режимам эксплуатации, изучать историю работы самосвала, а также строить графики полученных величин [6]. Ключевая особенность IMS заключается в способности к самообучению. По мере накопления данных система прогнозирует отказ конкретных узлов с учетом индивидуальных условий эксплуатации каждой машины: климатического региона, профиля трассы, загруженности и стиля вождения оператора. Это позволяет сервисным службам горнодобывающих предприятий своевременно проводить обслуживание, предотвращая внезапные остановки техники в карьере. Хотя стоимость внедрения подобных систем мониторинга варьируется в зависимости от масштаба парка техники, мировой опыт свидетельствует о быстрой окупаемости таких инвестиций. По данным аналитических отчетов в сфере промышленного интернета вещей (IIoT), внедрение предиктивной аналитики позволяет снизить затраты на техническое обслуживание на 20-30% и увеличить время безотказной работы оборудования до 45%. Для таких горнодобывающих предприятий, эксплуатирующих технику, как БЕЛАЗ, это означает, что инвестиции в IMS окупаются менее чем за год за счет предотвращения простоев, стоимость которых может достигать десятков тысяч долларов в час.

Заключение. Предиктивная аналитика сегодня перестала быть экспериментальной технологией и превратилась в действенный инструмент повышения промышленной безопасности и экономической эффективности. Рассмотренные примеры демонстрируют, что внедрение систем на базе искусственного интеллекта и цифровых двойников позволяет снизить риск аварий, предотвратить многомиллионные убытки от простоев и оптимизировать затраты на ремонты.

Список литературы

1. *Промышленные происшествия: трагические инциденты и их последствия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://metallicheckiy-portal.ru/articles/bezopasnost/promishlennie_proisshestvia_tragicheskie_incidenti_i_ix_posledstvia. – Дата доступа: 24.02.2026.*
2. *Предиктивная аналитика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://sochisirius.ru/news/7349. – Дата доступа: 25.02.2026.*
3. *Фрагмент тематического исследования: Объединение данных с датчиков позволяет выявить механическую деградацию вентилятора спекательного оборудования до его выхода из строя. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.razor-labs.com/sensor-fusion-identifies-mechanical-degradation-in-sinter-fan-before-failure/. – Дата доступа: 25.02.2026.*
4. *4 типа цифровых двойников [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://digitaldirections.com/4-types-of-digital-twins-basic-overview-with-examples/#ge-aviation. – Дата доступа: 25.02.2026*
5. *Открытие инновационной лаборатории цифровых двойников [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.psu.by/ru/novosti/sobytiya/otkrytie-innovatsionnoj-laboratorii-tsifrovykh-dvojnikov. – Дата доступа: 26.02.2026*
6. *IMS: интеллектуальная система мониторинга и прогнозной аналитики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://btlogistic.ru/stati/ims-intellektualnaya-sistema-monitoringa-i-prognoznoj-analitiki. – Дата доступа: 26.02.2026.*

UDC 004.774:331.45

PREDICTIVE ANALYTICS IN PREVENTING ACCIDENTS AT ENTERPRISES

Kalugina V.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Ilyasova M.S. – Master of Sci., assistant of the Department of EPE

Annotation. The article focuses on the application of predictive analytics to prevent accidents in industrial enterprises. It explores the technological foundations of this approach, including IoT sensors, Big Data, and machine learning, as well as the role of digital twins in industries such as metallurgy, aviation, gas supply, and mechanical engineering.

Keywords: predictive analytics, industrial safety, machine learning, IoT, digital twins, equipment monitoring

УДК 334.024

ТРАНЗАКЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В СФЕРЕ ФИНАНСОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кохан А.Д.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Василькова А.Н. – ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. В статье рассмотрена роль транзакционных систем в работе современных финансовых учреждений, описаны компоненты таких систем и принципы их функционирования и взаимодействия друг с другом и с внешними системами.

Ключевые слова: финансовые технологии, транзакционная система, Java, база данных, брокер сообщений, сервер приложений.

Введение. Стремительное развитие финансовых технологий является ключевым двигателем цифровой трансформации мировой экономики, и его устойчивый рост в условиях цифровизации, глобальной конкуренции и повышенных требований к безопасности напрямую зависит от активного внедрения и интеграции новейших технологий. Развитие этой сферы оказывает глубокое и многогранное положительное влияние на мир, выходящее далеко за рамки просто удобств клиентов банков. Это стало возможным благодаря развитию автоматизированных банковских систем, которые на данный момент являются основой рабочего процесса практически всех финансовых учреждений, что признают такие большие исследовательские компании как Gartner и IBM [1].

Основная часть. Gartner определяет основную банковскую систему как внутреннюю автоматизированную систему, которая обрабатывает ежедневные банковские операции и производит обновление счетов и других финансовых записей [2]. Основные банковские системы обычно включают в себя возможности обработки депозитов, займов и кредитов, с возможностью подключения к стандартным системам бухгалтерского учёта и инструментам отчетности.

В настоящее время многие крупные финансовые учреждения могут самостоятельно разработать свою систему и не прибегать к решениям других компаний-разработчиков. В некоторых случаях финансовое учреждение может купить лицензию на уже готовый продукт, такие решения называются коробочный программный продукт. Это значит, что техническим специалистом учреждения придётся самостоятельно интегрировать продукт в свой процессинг и произвести некоторые настройки, прежде чем он начнёт выполнять свою функцию. Он поставляется на условиях «как есть», со стандартными для всех покупателей функциями [3]. В отличие от заказного программного продукта, само появление которого обусловлено требованием конкретного заказчика. И в отличие от проектного программного продукта, продажа которого может, по требованию заказчика, сопровождаться проектной доработкой или разработкой функций, дополняющих стандартные возможности. Распространённым примером таких продуктов являются Oracle FLEXCUBE, SAP Transactional Banking [4] и Temenos Transact, на примере которого далее в этой статье будет подробнее рассмотрено устройство подобных систем.

Комплексно архитектуры систем обычно характеризуют как монолитную или микросервисную. Монолитная архитектура – это традиционная модель программного обеспечения, которая представляет собой единый модуль, работающий автономно и независимо от других приложений. Микросервисная архитектура представляет собой метод организации архитектуры, основанный на ряде независимо развертываемых служб. У этих служб есть собственная бизнес-логика и база данных с конкретной целью [5].

Рассматриваемую в статье систему Temenos Transact правильнее было бы характеризовать как монолитную, но с оговоркой на то, что это модульный монолит. Модульный монолит – это архитектурный подход, который сочетает в себе аспекты как монолитной, так и модульной парадигм проектирования [6]. Вместо того чтобы разбивать приложение на отдельные микросервисы или распределенные компоненты, что может привести к усложнению процесса развертывания и затратам на связь, модульный монолит организует кодовую базу в виде четко определенных модулей в рамках одного приложения. Эти модули обычно организованы на основе бизнес-возможностей или принципов проектирования, основанных на предметной области. Далее будет рассмотрено как это реализовано в системе.

Автоматизированная банковская система работает на сервере, расположенном либо в центре обработки данных финансового учреждения, либо предоставляемого, по принципу IaaS (инфраструктура как услуга), другой организацией, например Amazon Web Services [7]. Такой сервер может работать под управлением операционной системы Windows Server или множества серверных дистрибутивов Linux, например RedHat или Oracle [8]. При необходимости можно использовать и десктопные версии операционных систем, что запустить систему локально на рабочем компьютере или ноутбуке. Это может потребоваться в процессе разработки, т.к. содержать отдельные сервера может быть экономически невыгодно.

Система Temenos Transact традиционно использует серверы приложений для функционирования. Сервер приложений – это тип сервера, на котором размещается программное обеспечение, используемое для исполнения бизнес-логики. В системах, связанных с финансовыми услугами или мониторингом, код системы содержит бизнес-логику, которая позволяет ей исполнять свои функции. Бизнес-логика – это логика, применяемая для того, чтобы помочь системе выполнять критически важные операции, такие как транзакции или вычисления, на основе бизнес-правил. Обычно она определяет вычислительные задачи и порядок их выполнения [9]. Примерами таких веб-серверов являются IBM WebSphere и RedHat JBoss. Систему Temenos Transact традиционно разворачивают с помощью RedHat JBoss Enterprise Application Platform, который способен исполнять Java код, добавленный к нему с помощью jar, war и ear архивов. JBoss может применяться как на Windows, так и на Linux за счёт дублирования скриптов в bash и bat формат и за счёт использования виртуальной машиной Java.

В качестве базы данных для хранения сущностей системы может использоваться любая реляционная система управления базами данных, например Oracle Database, Microsoft SQL Server или PostgreSQL. В базе данных системы присутствует более 60 тысяч таблиц и более 40 тысяч представлений. Такое большое количество данных обусловлено не только сложностью вычислений финансовых показателей, но и вызвано необходимостью распределения данных одной сущности по нескольким физическим таблицам для облегчения работы с данными и обеспечения возможности ленивой загрузки. Ленивая загрузка – это способ извлечения данных из базы при котором полный набор данных извлекается лишь при необходимости, предоставляя базово лишь часть данных или только идентификатор записи [10]. Также причинами большого количества данных в некоторых случаях становятся ошибки разработчиков системы, например, некоторые сущности дублируются в разных таблицах, какие-то таблицы перестают применяться из-за устаревания механизмов, которые их использовали, но при этом не удаляются из системы, а продолжают накапливаться [11]. Когда продукт долго разрабатывается большой командой, возникают архитектурные ошибки, которые приводят к негативным последствиям в виде увеличенного объёма системы и понижения производительности.

Для обмена сообщениями между исполняемыми модулями системы, которыми, в данном примере, являются java архивы используются брокеры сообщений. Брокер сообщений – это программное обеспечение, которое позволяет приложениям, системам и службам взаимодействовать и обмениваться информацией, даже если они написаны на разных языках или реализованы на разных платформах, путем перевода сообщений между официальными

протоколами обмена сообщениями [12]. Temenos Transact использует Apache ActiveMQ или Artemis для обмена сообщениями через очереди и по принципу темы и подписчика. Однако существует возможность при необходимости подключить сторонний брокер, который совершенно не обязательно должен работать внутри JBoss. Так, например, некоторые микросервисы, которые компания Temenos разработала, в последнее время требуют разворачивания брокера сообщений Apache Kafka.

Заключение. Для обработки данных в финансовых учреждениях используются различное программное обеспечение, которое было разработано по проекту для конкретной организации или разработанной для продажи по лицензии одной из технологических компаний. Такое программное обеспечение называется автоматизированной банковской системой. В качестве примера, в этой статье, была разобрана транзакционная система Temenos Transact и набор технологий, который используется в совокупности с ней. За исключение систем управления базой данных, которая может использовать любой другой набор технологий, почти все компоненты экосистемы Temenos Transact работают с применением технологий Java. Причиной тому является баланс между небольшой сложностью разработки, надёжностью, безопасностью и высокой производительностью набора технологий Java. За 30 лет своего существования Java зарекомендовала себя надёжным решением, к которому существует множество решений, что не только упрощает разработку, но и обеспечивает простоту интеграции с любыми прочими технологиями.

Список литературы

1. *What is core banking? // IBM [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.ibm.com/think/topics/core-banking. Дата доступа: 30.01.2026*
2. *Core Banking System // Gartner [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/core-banking-systems. Дата доступа: 30.01.2026*
3. *King, B. Bank 4.0: Banking Everywhere, Never at a Bank / Brett King // Wiley. – 2018. – Vol. 1. – P. 18.*
4. *Автоматизированные банковские системы // Soware [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://soware.ru/products/temenos-transact/alternatives. Дата доступа: 01.02.2026*
5. *Ричардсон, К. Микросервисы. Паттерны разработки и рефакторинга / Крис Ричардсон // Питер. – 2021. – Vol. 1. – P. 52.*
6. *What Is a Modular Monolith? // Geeks for Geeks [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.geeksforgeeks.org/system-design/what-is-a-modular-monolith/. Дата доступа: 01.02.2026*
7. *What are the types of cloud computing? // AWS Amazon [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://aws.amazon.com/types-of-cloud-computing/. Дата доступа: 02.02.2026*
8. *Ванденбринк, Р. Linux для сетевых инженеров / Роб Ванденбринк // Питер. – 2023. – Vol. 1. – P. 31.*
9. *What is an application server? // IBM [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.ibm.com/think/topics/application-server. Дата доступа: 02.02.2026*
10. *Lazy Loading в Java // Хабр [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://habr.com/ru/companies/otus/articles/819357/. Дата доступа: 06.02.2026*
11. *Кэмпбелл, Л. Базы данных. Инжиниринг надежности / Лейн Кэмпбелл, Черити Мейджорс // Питер. – 2021. – Vol. 1. – P. 278.*
12. *What is a message broker? // IBM [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.ibm.com/think/topics/message-brokers. Дата доступа: 06.02.2026*

UDC 334.024

ONLINE TRANSACTION PROCESSING IN MODERN FINANCIAL TECHNOLOGY

Kokhan A.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Vasilkova A.N. – senior lecturer of department of Engineering Psychology and Ergonomics

Annotation. Current article examines the role of transactional systems in the workflow of modern financial institutions, describing the components of such systems and the principles of their functioning and interaction with each other and with external systems.

Keywords. financial technologies, online transaction processing, application programming interface, Java, database, message broker, application server.

УДК 628.16.08:504.5:678.7

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДЕТЕКЦИИ И БАРЬЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ МИКРОПЛАСТИКА

Аксёнова А. А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Ильясова М. С. – магистр, ассистент кафедры ИПиЭ

Аннотация. В статье проанализирована проблема микропластика как техногенного загрязнителя. Рассмотрены инструментальные методы его идентификации (ИК-Фурье и Рамановская спектроскопия, пиролитическая ГХ/МС) и выполнено сравнение эффективности технологий водоподготовки: механическая фильтрация (для частиц >20 мкм), мембранные методы (до 99% очистки) и сорбция. Отдельно оценена ситуация в Беларуси: представлены данные по содержанию микропластика в реках Свислочь и Днепр, питьевой воде Минска, а также эффективность работы очистных сооружений (КОС-2, КОС-3) в сравнении с международными решениями (ЕС, Япония, США).

Ключевые слова: микропластик, ИК-Фурье спектрометрия, мембранная фильтрация, обратный осмос, очистные сооружения, сточные воды, технический анализ, нанопластик.

Введение. Загрязнение окружающей среды микропластиком признано одной из глобальных экологических проблем XXI века [1]. Высокая устойчивость к деградации, способность к биоаккумуляции и трансграничному переносу делают микропластик новым классом техногенных загрязнителей, требующим разработки и внедрения эффективных методов детекции и барьерной защиты.

Особую опасность представляет нанопластик – фракция частиц размером менее 1 мкм, способная проникать через биологические барьеры, накапливаться во внутренних органах и служить транспортом для токсичных загрязнителей, сорбированных на поверхности частиц. В связи с этим вопросы контроля содержания микропластика в питьевой воде, а также предотвращения его поступления в природные водоемы со сточными водами приобретают критическое значение.

В Республике Беларусь, в рамках реализации принципов «зеленой» экономики и Национальной стратегии развития экономики замкнутого цикла до 2035 года, проблема обращения с отходами и предотвращения вторичного загрязнения водных объектов выходит на первый план [2]. Традиционные системы водоподготовки и очистки сточных вод изначально не проектировались для удаления частиц микропластика, однако современные исследования демонстрируют их потенциал в качестве барьера [3].

Основная часть. Проблема микропластика в водных объектах Беларуси находится на начальном этапе системного изучения. Актуальность исследований продиктована необходимостью оценки реального уровня загрязнения и эффективности работы существующих очистных сооружений. Городские очистные сооружения Минска являются ключевым звеном, предотвращающим поступление загрязнителей в бассейн р. Свислочь, и представляют собой важный объект для исследования [4].

Современная аналитическая химия предлагает несколько высокоточных методов идентификации микропластика, различающихся по принципу действия, чувствительности и области применения [3]. Наиболее распространены спектральные методы: ИК-Фурье спектрометрия (FTIR) и КР-спектроскопия, позволяющая анализировать частицы мельче 10 мкм. Для количественного определения массовой концентрации полимеров используется пиролиз-газовая хроматография/масс-спектрометрия [5].

Комбинирование методов позволяет получать наиболее полную информацию о загрязнении. Критически важным этапом остается пробоподготовка, включающая разделение частиц по плотности и фильтрацию через мембраны с заданным размером пор.

Эффективность удаления микропластика зависит от стадии водоподготовки или очистки сточных вод и реализуемых механизмов задержания. Сравнительный анализ представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики RDF и традиционных энергоносителей

Технология	**Размер удаляемых частиц**	**Эффективность удаления, %**	**Механизм задержания**
Механическая (песколовки, отстаивание)	>100 мкм	50–80	Седиментация, флотация
Микрофильтрация (МФ)	0.1–10 мкм	90–98	Ситовой
Ультрафильтрация (УФ)	0.01–0.1 мкм	98–99.9	Ситовой, образование гелевого слоя
Нанофильтрация (НФ) и Обратный осмос (ОО)	<0.001 мкм (до ионов)	>99.9	Диффузионный, растворение
Сорбция (активированный уголь)	10–100 мкм	30–70	Адсорбция
Коагуляция/флокуляция	1–100 мкм	60–90	Агломерация

Анализ данных таблицы позволяет сделать следующие выводы. Традиционные механические методы эффективны только для крупных частиц. Мембранные технологии демонстрируют принципиально более высокую эффективность: микрофильтрация задерживает практически весь микропластик (>0,1 мкм), ультрафильтрация обеспечивает удаление до 99,9% частиц, включая крупный нанопластик, а нанофильтрация и обратный осмос являются абсолютным барьером. Сорбционные методы в качестве самостоятельной технологии малоэффективны.

Анализ международного опыта и первых отечественных исследований позволяет оценить ситуацию в Беларуси [4]. Исследования, проведенные на р. Свислочь в черте города Минска и ниже по течению (в районе Королищевичей), фиксируют присутствие частиц микропластика в концентрациях от 0.2 до 0.8 частиц/м³, преимущественно в виде волокон и фрагментов полиэтилена (ПЭ), полипропилена (ПП) и полистирола (ПС) [6]. Концентрации варьируются в зависимости от сезона и гидрологического режима, однако прослеживается тенденция к их увеличению (в 1.5–2 раза) после прохождения через городскую черту, что указывает на вклад диффузных источников и недостаточно очищенных сточных вод. В р. Днепр в районе Могилева концентрации микропластика фиксируются на уровне 0.1–0.3 частиц/м³, что ниже, чем в Свислочи, но также требует системного мониторинга.

Очистные сооружения Минска, использующие полный цикл биологической очистки с доочисткой на песчаных фильтрах, демонстрируют высокую общую эффективность задержания микропластика (до 95–98%), сопоставимую с показателями современных европейских станций [1]. Основное удаление (до 80–90%) происходит на стадиях механической и первичной очистки, где частицы связываются с осадком и удаляются в составе сырого осадка и избыточного активного ила. Тем не менее, даже при столь высокой эффективности, абсолютное количество частиц, попадающих в реку с очищенными водами, остается значительным из-за больших объемов стоков. Расчеты показывают, что суточный сброс микропластика с очищенными водами КОС может составлять от 20 до 80 млн частиц, что создает потенциальную нагрузку на водную экосистему [5].

Сравнение с мировыми данными показывает схожую картину. В странах, Японии и США действуют директивы и национальные программы, стимулирующие исследования по дооснащению очистных сооружений ступенями мембранной фильтрации (МФ/УФ) для повышения барьерной функции, особенно в отношении нанопластика. В Японии внедрение мембранных биореакторов (МБР), сочетающих биологическую очистку с ультрафильтрацией, является стандартом для новых сооружений. В США Агентство по охране окружающей среды разрабатывает рекомендации по учету микропластика при проектировании систем водоснабжения.

В Беларуси применение мембранных технологий пока ограничено системами локальной водоподготовки для фармацевтической, электронной и пищевой промышленности. Для финальной доочистки городских сточных вод эти технологии используются в меньшей степени. Данное направление является перспективным для модернизации очистных сооружений. Технико-экономические расчеты показывают, что внедрение ультрафильтрации на стадии доочистки может повысить эффективность удаления микропластика до 99.5–99.9% и обеспечить дополнительную защиту от бактериального и вирусного загрязнения [3].

Заключение. Технический анализ показывает, что проблема микропластика требует комплексного подхода, сочетающего совершенствование методов детекции и модернизацию барьерных технологий. Современные инструментальные методы позволяют надежно идентифицировать и количественно оценивать загрязнение [1]. Мембранные технологии признаны наиболее эффективным барьером, способным задерживать до 99.9% частиц [5].

Для Республики Беларусь актуальными являются несколько задач. Прежде всего, необходима стандартизация методик отбора проб и анализа микропластика для получения сопоставимых данных по водным объектам. Важно проведение систематического мониторинга содержания микропластика в поверхностных водах, питьевой воде и сточных водах. Требуется технико-экономическое обоснование внедрения ступеней мембранной фильтрации на крупных очистных сооружениях для создания надежного технологического барьера. Также необходима реализация мер по снижению поступления пластика в окружающую среду на этапах производства, потребления и обращения с отходами, что напрямую коррелирует с целями Национальной стратегии развития экономики замкнутого цикла [2].Решение этих задач позволит минимизировать экологические риски и обеспечить технологический суверенитет страны в области охраны водных ресурсов.

Список литературы

1. TOMRA Sorting Solutions. Case Study: Increased Plastic Purity with AI [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.tomra.com. – Date of access: 04.03.2026.

2. Национальная стратегия развития экономики замкнутого цикла до 2035 года. – Утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь, 20.12.2023, № 521. – Минск, 2023.

3. Wang, L. Deep Learning for Waste Classification: A Comprehensive Review / L. Wang, Y. Zhang // IEEE Transactions on Industrial Informatics. – 2024. – Vol. 20, № 2. – P. 1542–1557.

4. Официальный сайт ГУ «Оператор вторичных материальных ресурсов» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://vtoroperator.by. – Дата доступа: 04.03.2026.

5. ZenRobotics. ZenRobotics 4.0: Technical Specifications [Electronic resource]. – Mode of access: https://zenrobotics.com. – Date of access: 04.03.2026.

6. ТКП 17.11-08-2020 (02120) Охрана окружающей среды и природопользование. Отходы. Топливо из отходов (RDF). Технические условия. – Минск: Госстандарт, 2020.

UDC 628.16.08:504.5:678.7

TECHNOLOGICAL ASPECTS OF DETECTION AND BARRIER PROTECTION AGAINST MICROPLASTICS

Aksionava A. A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Ilyasova M.S. – Master of Sci., assistant of the Department of EPE

Annotation. The article analyzes the problem of microplastics as a technogenic pollutant. Instrumental methods for its identification (FTIR and Raman spectroscopy, pyrolytic GC/MS) are reviewed, and a comparison of the efficiency of water treatment technologies is carried out: mechanical filtration (for particles >20 μm), membrane methods (up to 99% purification) and sorption. The situation in Belarus is separately assessed: data on the content of microplastics in the Svisloch and Dnieper rivers, drinking water of Minsk, as well as the efficiency of wastewater treatment plants (WWTP-2, WWTP-3) in comparison with international solutions (EU, Japan, USA) are presented.

Keywords: microplastics, FTIR spectrometry, membrane filtration, reverse osmosis, wastewater treatment plants, wastewater, technical analysis, nanoplastics.

УДК 621.383.722

ФОТОНИКА – ЭЛЕКТРОНИКА БУДУЩЕГО

Коновалов Н.О., Богдевич К.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Бычек И.В. – к. т. н., доцент кафедры ЭТТ

Аннотация. Представлены основные направления фотоники. Показаны преимущества фотоники по сравнению с электроникой. Рассмотрены принципы работы и дальнейшее развитие.

Ключевые слова: фотоника, фотонные интегральные схемы, электроника

Введение. Современная наука стоит на пороге новой технологической революции – перехода от электроники к фотонике, то есть к системам, в которых перенос и обработка информации осуществляются с помощью света. Развитие фотоники связано с необходимостью преодоления ограничений, накладываемых законами физики на электронные устройства – предельные частоты переключения транзисторов, рост тепловых потерь и энергопотребления. Фотонные технологии обещают решения этих проблем, обеспечивая более высокие скорости передачи данных, низкие потери энергии и компактность систем [1].

Основная часть. Фотоника – наука и технология, изучающая создание, управление и использование света для передачи и обработки информации. Она включает в себя широкий спектр направлений – от волоконно-оптической связи до квантовых вычислений и лазерной медицины. Согласно определению Международного общества оптики и фотоники (SPIE), фотоника охватывает «все технологии, в которых используются фотоны для создания, управления и преобразования информации» [2]. В фотонике выделяют четыре основных направления (рисунок 1).

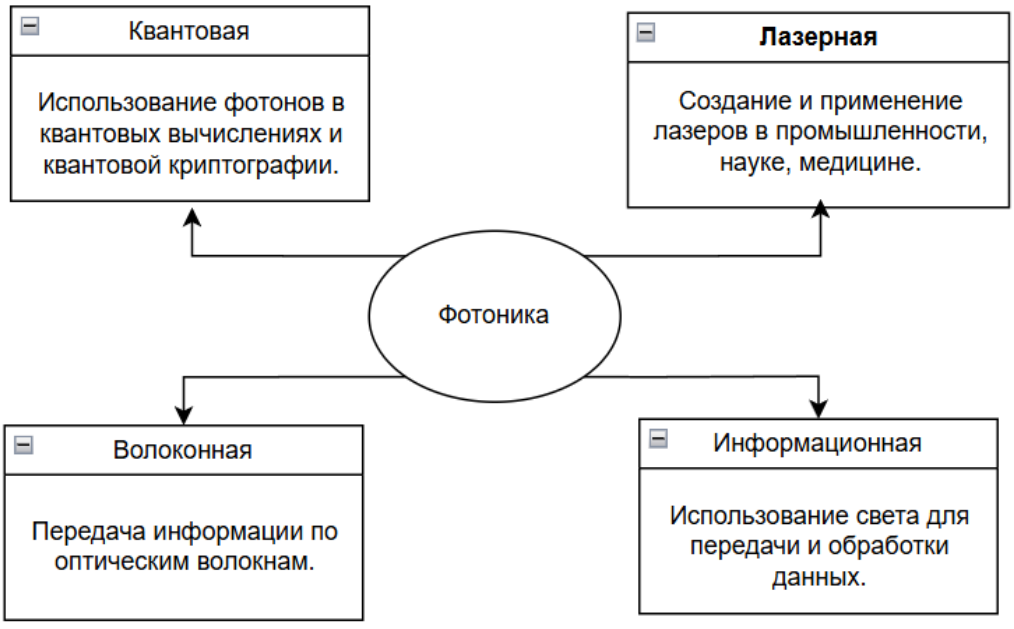


Рисунок 1 – Основные направления фотоники

Главный принцип фотоники заключается в использовании света как носителя информации. Фотонные технологии легли в основу интернета и глобальных

телекоммуникаций, обеспечивая передачу данных по оптоволоконным линиям со скоростью десятки терабит в секунду.

Фотоника рассматривается как естественное продолжение электроники, но между ними существуют принципиальные различия (таблица 1) [3].

Фотонные интегральные схемы (ФИС) представляют собой оптический аналог электронных микросхем. Такие схемы позволяют создавать оптические процессоры, где логические операции выполняются с помощью света. Скорость работы таких систем в сотни раз выше, чем у электронных чипов, а энергопотребление в десятки раз ниже [4].

Таблица 1 – Последовательность тестирования ФБ М

Параметр	**Электроника**	**Фотоника**
Носитель информации	Электроны	Фотоны
Скорость передачи данных	до 10 бит/с	до 10 бит/с
Энергопотребление	Высокое	Низкое
Перегрев	Значительный	Минимальный
Потери при передаче	Сопротивление, индукция	Оптическое затухание
Миниатюризация	Зависит от литографии	Ограничена длиной волны света (~500 нм)

Основные компоненты ФИС представлены на рисунке 2.

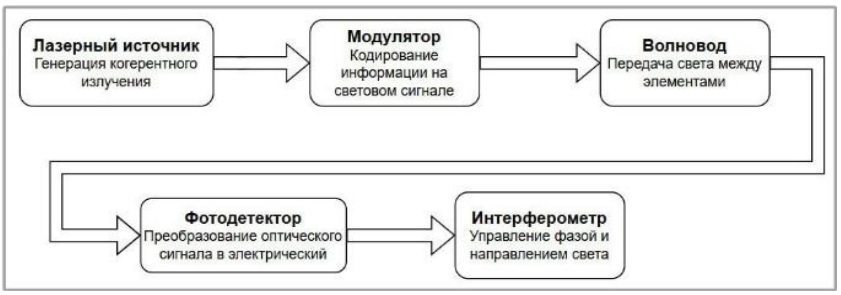


Рисунок 2 – Упрощенная структура фотонной интегральной схемы

Фотоника нашла широкое применение. Сегодня более 99 % межконтинентального трафика проходит по оптическим кабелям. Фотонные кубиты используются для создания квантовых компьютеров и абсолютно защищенной связи [5]. К основным направлениям будущей фотоники относятся фотонные нейроморфные системы, фотонные чипы для искусственного интеллекта, квантовые фотонные процессоры, гибридные электронно-фотонные платформы для центров обработки данных. Компании Intel, IBM и Huawei активно разрабатывают кремниевую фотонику – технологию интеграции фотонных компонентов прямо в микросхемы [6]. Эти решения позволят увеличить пропускную способность систем связи в сотни раз при сохранении совместимости с современными процессами производства.

Заключение. Фотоника – это не просто направление науки, а фундамент новой технологической эпохи. Использование света вместо электронов позволяет многократно ускорить вычисления, снизить энергозатраты и создать новые формы вычислительных систем.

Список литературы

1. Saleh, B. E. A. Fundamentals of Photonics / B. E. A. Saleh, M. C. Teich. – 2-е изд. – New York: Wiley, 2019. – 1518 с.

2. Agrawal, G. P. Fiber-Optic Communication Systems / G. P. Agrawal. – New York: Wiley, 2021. – 552 с.

3. O'Brien, J. L. Quantum Photonic Technologies / J. L. O'Brien // Nature Photonics. – 2020. – Vol. 14, № 4. – PP. 209–216.

4. Miller, D. A. B. Attojoule Optoelectronics for Low-Energy Information Processing and Communications / D. A. B. Miller // Journal of Lightwave Technology. – 2017. – Vol. 35, № 3. – PP. 346–396.

5. ITU. Optical Fiber Networks and Global Internet Infrastructure / International Telecommunication Union. – Geneva, 2022. – 86 с.

6. SPIE – International Society for Optics and Photonics. Photonics Fundamentals [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://spie.org. Дата доступа: 02.12.2025.

UDC 621.383.722

PHOTONICS: THE FUTURE OF ELECTRONICS

Konovalau N.O., Bogdevich K.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Bychek I.V. – Cand. of Sci., associate professor of the department of ETT

Annotation. The main directions in photonics are presented. The advantages of photonics over electronics are demonstrated. Its operating principles and future developments are considered.

Keywords: photonics, photonic integrated circuits, electronics

УДК 621.385.69

СВЧ-КОМПОНЕНТЫ: ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Куприянович О.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Бычек И.В. –к. т. н., доцент кафедры ЭТТ

Аннотация. Рассмотрены направления развития компонентов СВЧ-диапазона. Показано, что переход на миллиметровые и субмиллиметровые волны позволяет увеличить пропускную способность каналов связи и создать высокоточные сенсорные системы.

Ключевые слова: сверхвысокие частоты, СВЧ-компоненты, миллиметровые волны, монокристаллический алмаз, микроэлектромеханические системы, нейроморфные вычисления

Введение. Сверхвысокие частоты (СВЧ) являются основой функционирования современных систем беспроводной связи, радионавигации, радиолокации и дистанционного зондирования. В последнее время наблюдается стремительное развитие СВЧ-электроники, где научные открытия напрямую влияют на инженерные решения.

Основная часть. СВЧ – это вид электромагнитного излучения, занимающий в спектре место между радиоволнами и инфракрасным излучением. Диапазон СВЧ охватывает частоты от 300 МГц до 300 ГГц, что соответствует длинам волн от 1 м до 1 мм (рисунок 1) [1].

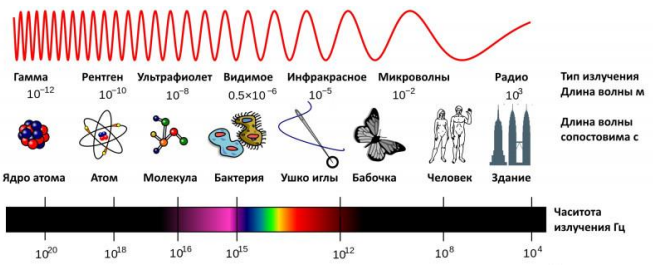


Рисунок 1 – Шкала электромагнитного спектра

Поскольку длина СВЧ-волн является промежуточной между световым излучением и обычными радиоволнами, они обладают свойствами и света, и радиоволн. Например, СВЧ-волны, как и свет, распространяются по прямой, перекрываются твердыми объектами, могут фокусироваться в луч и отражаться [2].

Одним из известных применений СВЧ-компонентов является микроволновая печь [3], однако на практике технологии на основе СВЧ встречаются значительно чаще: Bluetooth, Wi-Fi, спутники прямого вещания и GPS. Кроме того, СВЧ-технологии находят применение в радиоастрономии и спектроскопии, давая возможность ученым исследовать космические объекты и молекулярные строения [4].

СВЧ-компоненты обладают рядом ключевых преимуществ, определивших их широкое распространение. Благодаря высокой частоте они способны передавать значительные объемы информации, что делает их незаменимыми в системах беспроводной связи. Их способность эффективно взаимодействовать с веществом позволяет использовать СВЧ-излучение для нагрева, а возможность фокусировки в узкие лучи – для радаров и спутниковой связи. Кроме того, малая длина волны обуславливает компактность самих компонентов [5].

Однако эти технологии имеют и существенные ограничения. Ключевой недостаток – прямолинейное распространение микроволн, требующее прямой видимости между передатчиком и приемником. Сложность и высокая стоимость проектирования и производства СВЧ-компонентов, а также потенциальные риски для здоровья при длительном воздействии излучения также остаются актуальными вызовами, требующими строгого контроля [6].

Одной из ключевых тенденций развития СВЧ-компонентов является переход на миллиметровые и субмиллиметровые диапазоны. Например, современные сканеры в аэропортах, работающие в миллиметровом диапазоне СВЧ-излучения (70-80 ГГц), активно вытесняют устаревшее рентгеновское оборудование, поскольку позволяют безопасно создавать трехмерные изображения скрытых предметов за счет анализа естественного теплового излучения тела и отраженных микроволновых сигналов [7].

В производстве СВЧ-компонентов классические материалы, такие как кремний или нитрид галлия, все шире замещаются монокристаллическим алмазом. Методы микроволновой химии, способные в десятки раз ускорять химические реакции, открывают новые возможности, такие как переработка отходов и создание экологичных производств. Еще одно перспективное направление – развитие микроэлектромеханических СВЧ-компонентов (МЭМС). Эти детали ориентированы на портативные и мобильные устройства связи. МЭМС характеризуются миниатюрностью, низким энергопотреблением, высокой надежностью и устойчивостью к внешним нагрузкам [7].

Значительным прорывом стало создание микрочипа, который имитирует работу нейронов головного мозга с помощью микроволновых сигналов. Этот чип способен выполнять сложные задачи по обработке информации, такие как распознавание речи и рукописного ввода. Технология открывает путь к созданию нового поколения вычислительных систем, сочетающих высокую скорость обработки данных с энергоэффективностью [8].

Заключение. Ключевыми направлениями эволюции СВЧ-технологий являются освоение миллиметрового диапазона, применение перспективных материалов, например, монокристаллического алмаза, и миниатюризация компонентов на основе МЭМС. Особый потенциал демонстрируют нейроморфные вычисления, где микроволновые сигналы имитируют работу человеческого мозга для эффективного решения сложных задач. Таким образом, СВЧ-компоненты остаются фундаментом для технологического прорыва в таких областях, как связь нового поколения, искусственный интеллект и наукоемкие производства.

Список литературы

1. Microwave transmission [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.geeksforgeeks.org/electronics-engineering/ microwave-transmission/. Дата доступа: 27.11.2025.

2. СВЧ излучение. Физические характеристики. Область применения, в том числе в медицине. Влияние СВЧ излучения на организм. Патогенез воздействия. Профилактика воздействия [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://studfile.net/preview/16684112/page:63/. Дата доступа: 27.11.2025.

3. Приручённые невидимки. Все о микроволновых печах [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.elremont.ru/small.rbt/bt_rem2.php. Дата доступа: 27.11.2025.

4. Microwave Technology [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.ebsco.com/research-starters/science/microwave-technology. Дата доступа: 27.11.2025.

5. Микроволны, физические свойства, применение [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://focus-msk.ru/mikrovolny-fizicheskie-svojstva-primenenie. Дата доступа: 27.11.2025.

6. Выбор технологии СВЧ-транзисторов для использования в усилителях мощности [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://microwave-e.ru/components/vybor-tehnologii-svch/. Дата доступа: 27.11.2025.

7. Перспективы развития СВЧ-компонентов: новые технологии и идеи [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://acomsupply.com/perspektivy-razvitiya-svch-komponentov-novye-tekhnologii-i-idei/. Дата доступа: 27.11.2025.

8. Ученые создали первый «микроволновый мозг»: уникальный микрочип [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://hi-tech.mail.ru/news/132112-uchenye-sozdali-pervyj-mikrovolnovyj-mozg-unikalnyj-mikrochip/. Дата доступа: 27.11.2025.

UDC 621.385.69

CHEMISTRY IN DISPLAY TECHNOLOGIES

Kuprianovich O.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Bychek I.V. – Cand. of Sci., associate professor of the department of ETT

Annotation. The directions of the development of the components of the ultrahigh frequency range are considered. It is shown that the transition to millimeter and submillimeter waves makes it possible to increase the bandwidth of communication channels and create high-precision sensor systems.

Keywords: ultrahigh frequencies, microwave components, millimeter waves, single crystal diamond, microelectromechanical systems, neuromorphic computing

УДК 620.3:552.086

ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

Николаеня С.Р., Сидоренко В.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Бычек И.В. – к. т. н., доцент кафедры ЭТТ

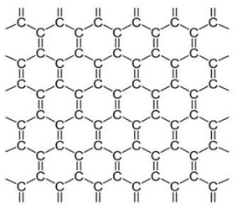
Аннотация. Проведен анализ современных достижений и перспективных направлений развития нанотехнологий как ключевого фактора технологического прогресса. Рассмотрена классификация наноматериалов по происхождению и свойствам. Изучены инновационные решения: огнезащитный аэрогель, биоразлагаемая упаковочная пленка, а также дезинфицирующие средства. Проанализирована динамика роста мирового рынка нанотехнологий и их интеграция в ключевые отрасли промышленности.

Ключевые слова: нанотехнологии, наноматериалы, аэрогель, биоразлагаемая упаковка, дезинфицирующие средства, рынок нанотехнологий, графен, нанотрубки, фуллерен

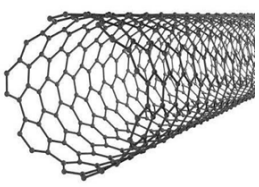
Введение. Нанотехнологии представляют собой междисциплинарную область науки и техники, ориентированную на создание и применение структур с размерами менее 100 нм. Идея нанонауки была предложена Р. Фейнманом в 1959 году, однако практическая реализация стала возможной лишь с развитием методов манипулирования веществом на атомарном уровне [1]. Уникальность нанообъектов проявляется в доминировании квантовых и поверхностных эффектов, что позволяет создавать материалы с принципиально новыми свойствами.

Основная часть. Классификация наноматериалов основана на их происхождении, химическом составе и структуре. Природные наноматериалы возникли в результате биологических и геологических процессов. Среди биогенных компонентов выделяются белки и нуклеиновые кислоты, имеющие размеры порядка 2-10 нм, вирусные частицы – 20-300 нм, а также нанокомпозиты, образующие костную ткань, состоящую из коллагена и гидроксиапатита. Магнитные наночастицы, синтезируемые бактериями, представляют собой естественные биофабрикаты с размерами 3-15 нм. Небиогенные природные материалы включают наноструктурированные глинистые минералы с толщиной слоя около 1 нм, вулканический пепел и опалы – упорядоченные наносферы диоксида кремния.

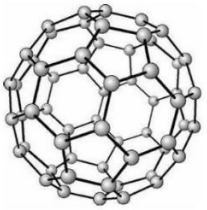
Искусственные наноматериалы (рисунок 1) разрабатываются с целью оптимизации характеристик и расширения функционала. Углеродные материалы, получившие широкое развитие, включают одноатомный слой графена (рисунок 1, а) с рекордной прочностью и высокой электропроводностью, углеродные нанотрубки (рисунок 1, б) различных типов, а также фуллерены (рисунок 1, в) (например, C_{60} и C_{70}), способные к образованию разнообразных структур и обладающие уникальными электрофизическими свойствами. Кроме того, неорганические квантовые точки, такие как CdSe и PbS, позволяют регулировать спектр люминесценции, что актуально для оптоэлектроники и биомедицинских сенсоров. Органические наноматериалы представлены дендримерами, липосомами и полимерными мицеллами [2].



а – химическая структура графена



б – нанотрубки



в – фуллерен

Рисунок 1 – Искусственные наноматериалы

Особое внимание уделяется огнезащитным материалам на основе аэрогелей, созданных из целлюлозных нановолокон и нанопластин сульфида молибдена. Методика сублимационной сушки обеспечивает формирование пористой структуры с высокой удельной площадью. Нанобарьерные свойства сульфида молибдена MoS_2 препятствуют диффузии кислорода и тепла в полимерную матрицу, а атомы молибдена инициируют ускоренное формирование обугленного защитного слоя, повышающего кислородный индекс и огнестойкость. Помимо этого, снижается выделение токсичных летучих соединений, изменение которых негативно сказывается на безопасности в случае пожара [3].

В ответ на экологические вызовы разработана биоразлагаемая упаковочная пленка из линейных полисахаридов агарозы и хитозана, изготовленная методом контролируемого полимерного осаждения. Такие пленки демонстрируют улучшенные механические свойства, прозрачность и устойчивость к влаге, что позволяет рассматривать их в качестве перспективной альтернативы традиционным нефтехимическим полиэтиленовым материалам, уровень производства которых превышает четверть общего объема пластмасс [3].

Ученые разработали наночастицы на основе масел мяты и зеленого чая. Результат обеспечивает значительное повышение растворимости масел в водной среде, расширенный спектр антимикробной активности, длительный период действия (свыше 96 часов) и повышенную термическую стойкость. Эти свойства делают наночастицы эффективными и экологически безопасными средствами для очистки пищевых продуктов, воды и поверхностей [3].

Развитие мировой индустрии подтверждается стабильным ростом рынка: в 2024 году его объем оценивался на уровне 120-130 млрд долларов США, при прогнозе увеличения до 227,54 млрд долларов к 2032 году при среднегодовом темпе 7-9 % [4].

Заключение. Анализ текущих тенденций свидетельствует о трансформации нанотехнологий из научной идеи в фундаментальную движущую силу развития современной промышленности. Классификация наноматериалов выявляет их различия и уникальные свойства, что способствует разработке инновационных продуктов и решений. Прогнозируемый рост мирового рынка подтверждает высокую экономическую значимость отрасли.

Список литературы

1. Нанотехнологии: прорыв к обществу, совместимому с ресурсами и энергией в 21 веке [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.aist.go.jp/Portals/0/resource_images/aist_e/research_results/publications/pamphlet/today/nanotechnology_e.pdf. – Дата доступа: 08.12.2025.

2. Природные и искусственные наноматериалы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://education.nationalgeographic.org/resource/nanotechnology/market. – Дата доступа:08.12.2025.

3. Top 10 nanotechnology innovations for 2025 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.inpart.io/blog/top-10-new-nanotechnology-innovations. – Дата доступа:08.12.2025.

4. Размер рынка нанотехнологий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.databridgemarketresearch.com/ru/reports/global-nanotechnology-market. – Дата доступа:08.12.2025.

UDC 620.3:552.086

ACHIEVEMENTS AND PROSPECTS OF NANOTECHNOLOGY

Nikalayenia S.R., Sidorenko V.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Bychek I.V. – Cand. of Sci., associate professor of the department of ETT

Annotation. The analysis of modern achievements and promising directions of nanotechnology development as a key factor of technological progress is carried out. The classification of nano-materials by origin and properties is considered. Innovative solutions have been studied: a flame retardant aerogel, as well as a biodegradable packaging film with antimicrobial coatings. The dynamics of the global nanotechnology market growth and their integration into key industries are analysed.

Keywords: nanotechnology, nanomaterials, aerogel, biodegradable packaging, antimicrobial coatings, nanotechnology market, graphene, nanotubes, fullerene

УДК 621.315.59

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

Журавская Е.А., Гололобов Н.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Бычек И.В. – к. т. н., доцент кафедры ЭТТ

Аннотация. Рассмотрены три перспективных класса полупроводниковых материалов, способных сформировать элементную базу электроники: широкозонные полупроводники (SiC, GaN) для силовой и высокочастотной электроники; соединения A_3B_5 (GaAs, InP) для оптоэлектроники и СВЧ-устройств; двумерные материалы (графен, MoS_2) с уникальными свойствами, но сложностями внедрения.

Ключевые слова: широкозонные полупроводники, двумерные материалы, соединения A_3B_5, карбид кремния, нитрид галлия, графен

Введение. На протяжении десятилетий основой микроэлектроники был кремний, но сейчас он приближается к своим физическим пределам. При нанометровых размерах транзисторов становятся существенными квантовые эффекты: токи утечки и проблемы тепловыделения. Это требует перехода к новым материалам с превосходящими свойствами [1].

Основная часть. К наиболее перспективным классам полупроводников относятся широкозонные материалы (SiC, GaN) для силовой и высокочастотной электроники; соединения A3B5 (GaAs, InP) для оптоэлектроники и СВЧ-устройств; двумерные материалы (графен, MoS_2) с уникальными свойствами [1].

Основное отличие широкозонных полупроводников – большая запрещённая зона, определяющая электронные свойства. Чем она шире, тем большие токи способен пропускать транзистор. У кремния ширина запрещённой зоны около 1,1 эВ, у карбида кремния – 3,2 эВ.

Карбид кремния SiC (3,2 эВ) обладает высокой термостойкостью, высоким пробивным напряжением и отличной теплопроводностью. Он широко применяется в силовой электронике для создания компактных и надёжных устройств. Основные ограничения – высокая стоимость и сложность обработки.

Нитрид галлия GaN (3,4 эВ) демонстрирует превосходные характеристики в высокочастотном диапазоне. Используется в светодиодах, лазерных диодах и компактных зарядных устройствах. Недостатки: чувствительность к электростатике и высокая цена [2].Следующими представителями полупроводниковых материалов являются соединения типа A_3B_5 (III-V), которые характеризуются высокой подвижностью электронов и являются прямозонными, что делает их идеальными для оптоэлектронных применений.

Большая ширина запрещенной зоны и высокая подвижность электронов заставляют устройства на основе арсенида галлия GaAs быстро реагировать на электрические сигналы, что делает это соединение подходящим для усиления высокочастотных сигналов. Кроме того, этот материал показал свою эффективность при высоких температурах и хорошую устойчивость к радиационному излучению. Недостатки: хрупкость, сложность изготовления и относительно низкая теплопроводность.

По сравнению с арсенидом галлия еще более высокочастотным материалом является фосфид индия InP. Используется для создания сверхвысокочастотных транзисторов, лазерных диодов и лавинных фотодиодов, в том числе для волоконно-оптических линий связи. Основной барьер для массового применения – высокая стоимость [3].

Принципиально новый класс материалов атомарной толщины с уникальными свойствами представляют собой двумерные материалы [4]. Графен обладает исключительной

механической прочностью, высокой электропроводностью и теплопроводностью. Он перспективен для применения в гибкой электронике, сенсорах и элементах квантовых компьютеров. Фундаментальным недостатком для цифровой логики является отсутствие запрещенной зоны, что не позволяет создавать классические транзисторы с полным запиранием. Также остаются сложности с получением материала высокого качества в промышленных масштабах [5].

Дисульфид молибдена MoS_2 в отличие от графена, обладает стабильной запрещенной зоной, что делает его перспективным для создания наноразмерных транзисторов, детекторов и выпрямителей. Основная проблема – сложность получения крупногабаритных однородных пленок с контролируемыми свойствами [4].

Среди других новейших разработок полупроводниковых материалов выделяется оксид галлия Ga_2O_3. Он обладает сверхширокой запрещенной зоной (~4,8 эВ) и потенциально может быть дешевле SiC и GaN, обеспечивая более высокие пробивные напряжения. Основная текущая проблема – низкая теплопроводность, что требует разработки эффективных методов отвода тепла [1].

Заключение. Дальнейшее развитие микроэлектроники связано со специализацией материалов под конкретные задачи. Широкозонные полупроводники займут нишу силовой и высокочастотной электроники. Соединения типа A_3B_5 останутся критически важными для оптоэлектроники и высокочастотной техники. Двумерные материалы, такие как дисульфид молибдена и оксид галлия, открывают путь к созданию устройств с принципиально новыми характеристиками. Ключевыми задачами для внедрения этих материалов являются совершенствование технологий их синтеза, управления дефектностью и создания надежных гетероструктур. Решение этих задач откроет путь к созданию энергоэффективной, высокопроизводительной и специализированной электроники будущего [1, 2].

Список литературы

1. Не кремнием единым: из каких материалов сегодня изготавливают полупроводники [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://hightech.fm/2022/08/06/silicon-alternatives. – Дата доступа: 01.03.2026.

2. Широкозонные полупроводники как главный инструмент повышения энергоэффективности электроники [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.syntezmicro.ru/uploads/files/pub/Article42-4-5.pdf. – Дата доступа: 01.03.2026.

3. Бинарные полупроводниковые соединения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://elib.gsu.by/bitstream/123456789/5351/1/Лекция%2012.pdf. – Дата доступа: 01.03.2026.

4. Графен и его применение в электронике [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://scienceforum.ru/2020/article/2018020517. – Дата доступа: 01.03.2026.

5. Двумерные материалы, их свойства и применение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://intjournal.ru/wp-content/uploads/2023/03/Panchenko.pdf. – Дата доступа: 01.03.2026.

UDC 621.315.59

PROMISING SEMICONDUCTOR MATERIALS FOR MICROELECTRONICS

Zhuravskaya E.A., Gololobov N.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Bychek I.V. – Cand. of Sci., associate professor of the department of ETT

Annotation. As silicon technology reaches its physical scaling limits due to quantum leakage and heat dissipation, new semiconductors are needed. This report examines three classes: wide-bandgap materials (SiC, GaN) for power electronics; III–V compounds (GaAs, InP) for optoelectronics and microwave devices; 2D materials (graphene, MoS_2) with unique but hard-to-implement properties. Material specialization and synthesis advances are crucial.

Keywords: wide-band semiconductors, two-dimensional materials, A_3B_5 compounds, silicon carbide, gallium nitride, and graphene

УДК 621.317.7:537.86

ОТКРЫТИЯ ПРОШЛОГО НА СТРАЖЕ НАСТОЯЩЕГО.КОНСТРУКЦИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТАЛЛОИСКАТЕЛЕЙ

Буйневич Д.А., Языков С.К., Соловей А.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Савилова Ю.И. – к.т.н., доцент, доцент кафедры физики

Аннотация. В данной статье изучены эксперименты великих физиков из прошлого, с электромагнитными волнами. Рассмотрены принципы работы современных металлодетекторов. Описаны варианты их схем. Приведены примеры их использования в интересах людей.

Ключевые слова: металлоискатель, электромагнетизм, электромагнитное поле, электромагнитная индукция, закон Ленца, закон Био–Савара–Лапласа, индуктивность, соленоид, вихревые токи, индукционный баланс, методы обнаружения металлов, BFO (Beat Frequency Oscillator), IB (Induction Balance), PI (Pulse Induction).

Введение. Сложно представить себе современный мир без норм общественной безопасности. Мы встречаемся с ними каждый день, когда спускаемся в метро и видим работников службы безопасности, которые не допускают проноса опасных для людей вещей. Когда посещаем массовые мероприятия с большим скоплением людей, где на входе, сотрудники милиции проводят осмотр граждан, на предмет хранения запрещённых к проносу предметов. Даже, когда идем в магазин, на входе нас встречают рамки “Антикражи” недопускающие выноса неоплаченного товара. Во всех приведённых случаях применяются устройства, реагирующие на изменение электромагнитного поля внутри себя. Данные устройства несут свою доблестную службу в различных органах безопасности не первый год, но как же они устроены?

Основная часть. Один из первых шагов к изобретению современного металлоискателя совершил датский физик Ханс Кристиан Эрстед. В 1820 году проводя обычное лекционное занятие, Эрстед подключил токопроводящий провод к источнику тока (вольтов столб), и заметил, как магнитная стрелка, расположенная рядом, дрогнула. Хотя сам Эрстед не вывел формулу, но современная физика описывает его опыт законом Био-Савара-Лапласа, формула 1:

$$\beta = \frac{\mu I}{2\pi r}$$

где μ – магнитная постоянная; I – сила тока в проводникеr-расстояние до проводника; β – магнитная индукция

Таким образом, именно опыт Эрстеда, помог установить связь электричества и магнетизма.

Серьёзный прорыв в этих исследованиях совершил известный французский физик Андре-Мари Ампер. Не останавливаясь на экспериментах Эрстеда, он провёл несколько опытов, к примеру: пустил по двум параллельным проводам ток в одном направлении и заметил, что провода стали притягиваться, после чего, при изменении направления тока в одном из проводов, они стали отталкиваться. Во время проведения второго опыта, Ампер свернул провод в катушку (соленоид) и пустив по ней ток, заметил, что катушка повела себя как классический магнит. У неё появились северный и южный полюса. Таким образом Ампер подтвердил, что то что мы называем магнитом-это совокупность круговых токов внутри вещества.

В 1831 году английский физик Майкл Фарадей, загорелся идеей доказать, что раз ток создаёт магнитное поле, то и магнитное поле создаёт ток. Намотав катушку на токопроводящую сердцевину, у пустив по проводу ток, он стал передвигать внутри катушки магнит, в результате чего стрелка датчика (гальванометра) стала двигаться. В дальнейшем на основе этого опыта был составлен закон электромагнитной индукции, формула 2:

$$\varepsilon = \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

где ε – ЭДС индукции в контуре, $\Delta\phi$-изменение магнитного потока, Δt-время изменения.

В 1833 году Российский физик Эмилий Христианович Ленц фактически поставил точку в вопросе, оставленном Фарадеем, который заметил, что ток возникает при изменении магнитного поля, но не знал в какую сторону этот ток течёт. Ленц же увидел, что когда передвигаешь магнит внутри катушки вперёд, стрелка датчика идёт в одну сторону, когда магнит двигается назад, стрелка идёт обратно. Так он сформулировал свой закон: “Индукционный ток всегда направлен так, чтобы своим магнитным полем противодействовать изменению магнитного потока, которое его вызвало”.

Финальный шаг к изобретению современного металлоискателя совершил в 1881 году Александр Грэм Белл. 2 июня 1881 президент США Джеймс Гарфилд получил два пулевых ранения. Врачи не могли найти, где именно находится пуля. Тогда Белл решил использовать для этого, устройство Дэвида Хьюза, построенное на принципе индукционного баланса: 2 катушки (передающая и принимающая), в нормальном состоянии сигнал на принимающей отсутствовал, но при появлении между ними металла, вторая катушка принимала сигнал. Белл подсоединил к ним провод от телефона, который подавал звуковой сигнал при появлении метала. Однако поскольку Гарфилд лежал на металлической кровати, пулю найти так и не удалось. Однако в результате этого случая был создан первый прототип металлоискателя.

Существует 3 основных схемы металлоискателей:

1 BFO-Beat Frequency Oscillator (метод биений)- В приборе расположены два генератора радиочастоты. Частота первого фиксированная, а в колебательный контур второго включена катушка-искатель. Если в поле катушки попадает цветной металл, её индуктивность падает, если чёрный металл, то растёт. Оба этих сигнала смешиваются на слух. При появлении металла, в наушниках слышны скачки (биения) звука вверх или вниз.

2 IB-Induction Balance (индукционный баланс)- В приборе две катушки, расположенные особым образом: либо крест на крест, либо одна в одной плоскости, а вторая сдвинута. Поля обоих катушек строго скомпенсированы, так, чтобы одна катушка наводила во второй 0 вольт. Как только под нами появляется металл, компенсация катушек сбивается, и вторая катушка падает сигнал.

3 PI-Pulse Induction (Импульсная Индукция)-Здесь только одна катушка, которая работает по очереди приёмником и передатчиком. Импульс создаёт поле, которое начинает затухать, при исчезновении импульса. Но металлические предметы создаёт вихревые токи, и поле от них затухает постепенно. Его и фиксирует катушка при переходе в режим приёма.

Разберём одну из возможных схем, которую несложно собрать вручную.

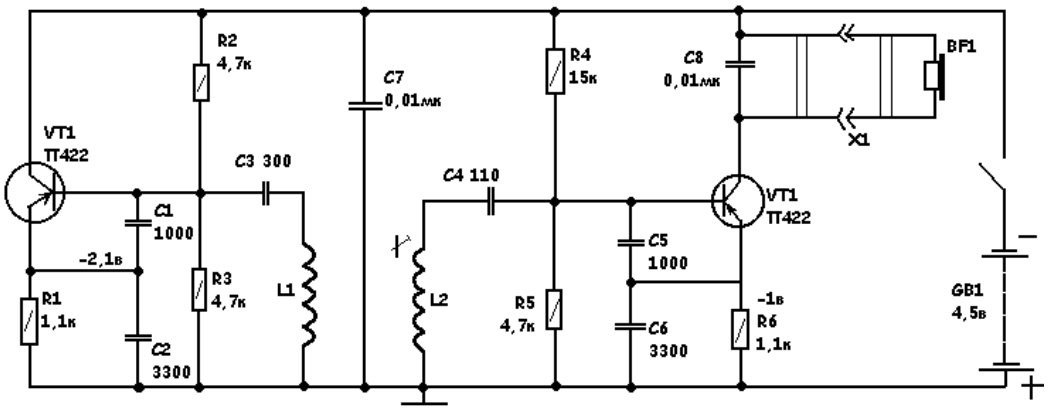


Рисунок 1 – Принципиальная схема металлоискателя

Это схема простого металлоискателя построенного на принципе индукционного баланса. Питание от батареи 4.5В и ток потребления 1.5мА, при обнаружении металла до 7мА. Состоит из двух катушек, каждая по 40 витков из провода диаметром 0.25мм на диэлектрический сердечник, для достижения частоты работы примерно 100кГц. В процессе работы индуктивности катушек приблизительно 1-2мГн. Левый транзистор VT1 совместно с катушкой L1 работаю как высокочастотный генератор, создающий необходимые 100кГц, конденсаторы C1 и C2 определяют частоту генерации. Правый транзистор VT2 и катушка L2 работаю как активный искатель, который и реагирует на металл. Сами транзисторы подключены так, чтобы стабилизировать изменение напряжения, при изменении свойств окружающей среды (температура, влажность и т.д.).

В нормальном состоянии ЭДС, наводимые катушками скомпенсированы, правый транзистор ток не пропускает, генератор высоких частот работает в резонанс. При появлении металла в поле катушек, в нем возникают вихревые токи. Эти токи создают своё поле, противофазное полю катушек. Магнитный поток через катушку L1 уменьшается, баланс пропадает. Появляется разница в ЭДС, частота высокочастотного генератора уменьшается, амплитуда сигнала в детектор (катушка L2 и правый транзистор) падает, правый транзистор начинает пропускать ток к динамику, звучит сигнал.

Преимущества данной схемы в том, что она проста в изготовлении, низкое энергопотребление, не требует сложной настройки. Например, изменяя сопротивление резисторов R1 и R6 мы можем изменять чувствительность и порог срабатывания.

Технология металлоискателя является крайне полезной в рамках специальности «Системы и сети инфокоммуникаций”, на которой обучаются авторы данной статьи. Металлодетекторы могут быть использованы для трассировки подземных коммуникаций. Специализированные металлоискатели, имеющие название трассоискатели широко используются для поиска повреждений подземных кабелей связи по причине того,что оптоволокно часто имеет металлический трос или оплётку.Кроме того знание самих принципов металлодетектора значительно поможет при эксплуатации линий связи.

Заключение. Таким образом, созданный ещё в начале 20 века, металлоискатель по сей день надёжно стоит на страже и обороне нашей страны. Ещё во времена Великой Отечественной войны, он помогал сапёрам обнаруживать и обезвреживать минные заграждения. Благодаря нему, сейчас наши правоохранительные органы могут наиболее совершенно и полно обеспечивать нашу безопасность. А работники таможенных и пограничных служб гарантируют спокойствие граждан. Металлоискатель – это пример прибора, который прошёл путь от полей сражений до современных реалией, показав свою надёжность и безотказность, обеспечивая нам зону комфорта на вокзалах, в метро, на улице и во всех местах общественной важности. Технологии не стоят на месте и будем надеяться, что в этой отрасли они тоже будут шагать в ногу с потребностями современных реалией.

Список литературы

1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теория поля. – М. : Наука, 1988. – 512 с.

2. Савельев И. В. Курс общей физики. Т. 2 : Электричество и магнетизм. – М. : Наука, 2003. – 432 с.

3. Гриффитс Д. Введение в электродинамику : пер. с англ. – М. : Бином, 2012. – 528 с.

4. Purcell E. M., Morin D. J. Electricity and Magnetism. – Cambridge : Cambridge University Press, 2013. – 821 p.

5. Maxwell J. C. A Treatise on Electricity and Magnetism. – Oxford : Clarendon Press, 1873. – 2 vols.

6. Faraday M. Experimental Researches in Electricity. – London : Royal Society, 1839. – 512 p.

7. Whittaker E. T. A History of the Theories of Aether and Electricity. – London : Longmans, Green and Co., 1951. – 480 p.

8. Серуэй Р. А., Джуэтт Дж. Физика для ученых и инженеров. Т. 2 : Электричество и магнетизм. – М. : Мир, 2014. – 624 с.

9. Bray D. Metal Detecting: Theory and Practice. – New York : McGraw-Hill, 1995. – 304 p.

10. Garrett C. Inside the Metal Detector. – Sweet Home : White's Electronics, 1987. – 198 p.

11. Клюев В. В. Методы неразрушающего контроля : учеб. пособие. – М. : Машиностроение, 2004. – 656 с.

12. Гусев Ю. П. Основы радиотехнических систем. – М. : Радио и связь, 2001. – 384 с.

13. Спасский Б. И. История физики. Т. 1. – М. : Наука, 1977. – 392 с.

14. Кужир П. Г., Самойлюкович В. А., Тесевич Б. И. Физика. Электричество и магнетизм : учеб.-метод. пособие. – Минск : БНТУ, 2015. – 216 с.

15. Бояршинова О. А. Электромагнетизм : метод. указания к практическим занятиям. – Минск : БНТУ, 2011. – 98 с.

16. Жданович А. А. Электромагнитные поля и волны : учеб. пособие. – Минск : БГУ, 2014. – 240 с.

17. Bryakin I. V., Bochkarev I. V., Khramshin V. R. Developing a Combined Method for Detection of Buried Metal Objects // Machines. – 2021. – Vol. 9, № 5. – P. 92–110.

18. Wilson B. A., Ledger P. D., Lionheart W. R. B. Identification of Metallic Objects using Spectral Magnetic Polarizability Tensor Signatures // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 2021. – Vol. 59, № 11. – P. 9023–9040.

19. Elson L., Meraki A., Rushton L. M. Detection and characterisation of conductive objects using electromagnetic induction and a fluxgate magnetometer // Journal of Applied Geophysics. – 2022. – Vol. 198. – P. 104–121.

20. Металлоискатель (металлодетектор) // Большая российская энциклопедия : электрон. ресурс. – Режим доступа: https://bigenc.ru (дата обращения: 24.02.2026).

21. Electromagnetic induction // Encyclopaedia Britannica : электрон. ресурс. – Режим доступа: https://www.britannica.com (дата обращения: 24.02.2026).

22. IEEE Xplore Digital Library : электрон. ресурс. – Режим доступа: https://ieeexplore.ieee.org (дата обращения: 24.02.2026).

23. SpringerLink : электрон. ресурс. – Режим доступа: https://link.springer.com (дата обращения: 24.02.2026).

24. ScienceDirect : электрон. ресурс. – Режим доступа: https://www.sciencedirect.com (дата обращения: 24.02.2026).

25. Национальная библиотека Беларуси : электрон. каталог. – Минск, 2026. – Режим доступа: https://nlb.by (дата обращения: 24.02.2026).

26. Патент США № 239,693. Apparatus for detecting metal / A. G. Bell. – Washington : U.S. Patent Office, 1881.

UDC 621.317.7:537.86

DISCOVERIES OF THE PAST GUARDING THE PRESENT. DESIGN AND APPLICATION OF MODERN METAL DETECTORS

Buinevich D.A., Yazykov S.K.,
Solovey A.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics Minsk, Republic of Belarus

Savilova U.I. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of physics

Annotation. This article examines the experiments of great physicists from the past with electromagnetic waves. The operating principles of modern metal detectors are considered. Variants of their circuit designs are described. Examples of their use in the interests of people are provided.

Keywords: Metal detector, electromagnetism, electromagnetic field, electromagnetic induction, Lenz's law, Biot–Savart–Laplace law, inductance, solenoid, eddy currents, induction balance, metal detection methods, BFO (Beat Frequency Oscillator), IB (Induction Balance), PI (Pulse Induction).

УДК 621.438:330.322

МЕТОДИКА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ

Вдовина В.А.

Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Республика Татарстан

Научный руководитель: Зинуров В.Э. – к.т.н., заведующий кафедрой ИГ

Аннотация. В работе представлена методика технико-экономического обоснования применения газотурбинных установок (ГТУ) для автономного энергоснабжения удаленных объектов. Рассмотрены основные этапы проведения ТЭО, включая анализ технических характеристик, расчет капитальных и эксплуатационных затрат, а также оценку интегральных показателей эффективности инвестиций. Определены ключевые факторы, влияющие на выбор ГТУ: мощность, тип топлива, режим работы, стоимость жизненного цикла. Предложенная методика может быть использована на этапе проектирования систем автономного энергоснабжения.

Ключевые слова: газотурбинная установка, автономное энергоснабжение, методика, технико-экономическое обоснование, эффективность инвестиций

Введение. Обеспечение надежного и экономичного энергоснабжения объектов, удаленных от централизованных энергосистем, является актуальной задачей энергетики. Традиционным решением выступают дизельные электростанции (ДЭС), но высокие эксплуатационные затраты и зависимость от топлива стимулируют поиск альтернатив. Газотурбинные установки (ГТУ) рассматриваются как перспективный вариант благодаря возможности работы на различных видах топлива, высокому моторесурсу и потенциалу утилизации тепла [1]. Целью данной работы является разработка методики технико-экономического обоснования (ТЭО) применения ГТУ для автономного энергоснабжения, позволяющей выбирать тип и параметры оборудования на предпроектной стадии.

Основная часть. Предлагаемая методика включает последовательную реализацию следующих этапов:

1 Анализ исходных данных и формирование требований к системе энергоснабжения: характер и график нагрузки, требуемая надежность, доступность и вид топлива, климатические условия, ограничения по площадке размещения.

2 Формирование множества альтернативных вариантов энергоснабжения, включая варианты на базе ГТУ различных типов и производителей; традиционный вариант на базе ДЭС (базовый для сравнения); вариант подключения к централизованной электросети (при оценке целесообразности строительства ЛЭП).

3 Оценка технических характеристик рассматриваемых вариантов: установленная мощность, электрический КПД, моторесурс до капитального ремонта, коэффициент готовности, экологические показатели. Особое внимание уделяется соответствию технических характеристик режимам электропотребления объекта [2].

4 Расчет капитальных затрат (CAPEX). Капитальные вложения включают стоимость основного и вспомогательного оборудования, транспортировку, строительно-монтажные и пусконаладочные работы [3].

5 Расчет эксплуатационных затрат (OPEX) в годовом исчислении. Учитываются затраты на топливо (с учетом цены, теплотворной способности и КПД); затраты на техническое обслуживание и ремонт (норматив в % от CAPEX или на моточас); заработная плата персонала; прочие расходы.

6 Оценка экономической эффективности инвестиций с использованием динамических методов [4]. Основные показатели, рекомендуемые для анализа: чистая приведенная стоимость (NPV); внутренняя норма доходности (IRR); дисконтированный срок окупаемости (DPP); индекс доходности (PI).

7 Анализ чувствительности полученных показателей к изменению ключевых факторов: цены топлива, ставки дисконтирования, величины CAPEX, годовой выработки электроэнергии. Данный этап позволяет оценить риски проекта и устойчивость выбранного решения [5].

На основе анализа технико-экономических показателей формулируются критерии, определяющие целесообразность применения ГТУ:

1 Экономическая эффективность: положительное значение NPV, IRR выше ставки дисконтирования, приемлемый срок окупаемости.

2 Техническая реализуемость: наличие свободных мощностей для маневрирования, соответствие графику нагрузки, возможность работы на заданном виде топлива.

3 Надежность и долговечность: достаточный моторесурс, наличие сервисной инфраструктуры.

4 Экологические ограничения: соответствие уровня выбросов действующим нормативам.

Заключение. Разработанная методика позволяет системно подойти к вопросу выбора газотурбинных установок для автономного энергоснабжения на этапе технико-экономического обоснования. Ее применение дает возможность оценить сравнительную эффективность различных вариантов, выявить ключевые факторы, влияющие на результат, и принять обоснованное проектное решение. Методика носит универсальный характер и может быть адаптирована для различных типов объектов и условий энергоснабжения. Перспективным направлением дальнейших исследований является разработка специализированного программного обеспечения, автоматизирующего процедуру ТЭО на основе предложенной методики.

Список литературы

1. Гусаров, В. А. Газотурбинная установка малой мощности на основе турбокомпрессора двигателя внутреннего сгорания / В. А. Гусаров, Я. В. Кулагин // Энергетик. – 2015. – № 9. – С. 17-18.

2. Кондратьев, Н. В. Оценка эффективности теплообменного оборудования турбохолодильной машины применяемой для повышения эффективности работы газотурбинной установки / Н. В. Кондратьев, В. В. Калекин // Международная научно-практическая конференция «Транспортные системы: безопасность, новые технологии, экология», Якутск, 04 апреля 2025 года. – Якутск: Сибирский государственный университет водного транспорта, 2025. – С. 619-635.

3. Иванов Д. Н. Паровые турбины // Новые технологии в теплоснабжении и строительстве. – 2021. – С. 49.

4. Касьяненко Т. Г., Маховикова Г. А. Экономическая оценка инвестиций // Учебник и практикум / ТГ Касьяненко, ГА Маховикова – М.: Юрайт. – 2014.

5. Рияд Р. М., Шевлюгин М. В. Оценка целесообразности создания собственной генерации на основе укрупненных расчетов газотурбинных установок //Бюллетень результатов научных исследований. – 2025. – №. 3. – С. 47-60.

UDC 621.438:330.322

METHODOLOGY FOR THE FEASIBILITY STUDY OF USING GAS TURBINE UNITS FOR AUTONOMOUS POWER SUPPLY

Vdovina V.A.

Kazan State Power Engeneering University, Kazan, Republic of Tatarstan

Zinurov V.E. – Cand. of Sci., head of the department of Engineering Graphics

Annotation. The paper presents a methodology for the feasibility study of using gas turbine units (GTU) for autonomous power supply of remote facilities. The main stages of the feasibility study are considered, including the analysis of technical characteristics, calculation of capital and operating costs, as well as the assessment of integral investment efficiency indicators. The key factors influencing the choice of GTU are identified: power, fuel type, operating mode, life cycle cost. The proposed methodology can be used at the design stage of autonomous power supply systems.

Keywords: gas turbine unit, autonomous power supply, methodology, feasibility study, investment efficiency.

УДК 608.1

ЭВОЛЮЦИЯ РОБОТОТЕХНИКИ – ОТ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ К АВТОНОМНОМУ АТРОПОМОРФНОМУ ИНТЕЛЛЕКТУ

Шухно А. В., Бурак Е. М.

Академия управления при Президенте Республики Беларусь,
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Шабанович Р.А. – магистр техн. наук, доцент, заведующий кафедры ИТАС

Аннотация. В работе рассматривается эволюция робототехники: от образовательных конструкторов до автономных систем. Анализируется роль STEM-образования, опыт использования антропоморфного робота FEDOR на МКС и влияние методов машинного обучения, таких как обучение с подкреплением и синтетические симуляции. Показано, как синергия этих направлений стирает грань между машиной и интеллектуальным партнёром.

Ключевые слова: робототехника, STEM-образование, антропоморфные роботы, FEDOR, обучение с подкреплением, симуляции.

Введение. Современная робототехника переживает фундаментальную трансформацию. Она превращается из узкоспециализированной дисциплины в комплексную экосистему. Эта экосистема объединяет образование, космонавтику и передовые методы машинного обучения. Раньше роботы использовались преимущественно для заводов или лабораторий. Теперь они интегрируются в повседневную жизнь, космос и школьные программы.

Основная часть. Робототехника выходит за рамки науки для специалистов. Она становится доступной для широкой аудитории – от школьников до космонавтов. Это эволюция от простых механизмов к сложным системам. В работе рассматривается роль образования в создании базы, применение в космосе для проверки и машинное обучение для повышения интеллекта. Всё это стирает грань между машиной и человеком.

Интерактивные платформы вроде LEGO Mindstorms или отечественного Роббо выходят за рамки простых конструкторов. Они служат базой для формирования STEM-компетенций. STEM охватывает науку, технологии, инженерию и математику. Через практический эксперимент осваиваются алгоритмизация и механика. Это создаёт кадровый резерв для разработки систем принципиально иного уровня. [1]

LEGO Mindstorms включает наборы с моторами, сенсорами и блочным программированием. Устройства собираются для задач вроде следования по линии или реакции на свет. Роббо – российская платформа, адаптированная для школ. Она интегрируется в уроки информатики и оказывается дешевле аналогов.

Ранее программирование оставалось теорией. Теперь практика развивает логическое мышление и понимание взаимодействия робота с окружением. Страны с развитым STEM-образованием, такие как США и Китай, лидируют в робототехнике. В России количество кружков по робототехнике растёт; тысячи участников соревнуются на RoboFest.

Образование обеспечивает доступность робототехники. Без него развитие кадровых ресурсов становится невозможным. Это фундамент для дальнейших достижений.

Примером перехода от теории к сложнейшим прикладным задачам служит проект FEDOR (Final Experimental Demonstration Object Research). Это наиболее узнаваемый российский робот. Успешное испытание антропоморфного робота на МКС подтвердило возможность делегирования машинам критически важных функций в экстремальных условиях. Требуется тонкая моторика и имитация человеческих действий.

FEDOR представляет собой гуманоида с двумя руками и пальцами. Он выполняет стрельбу, езду на самокате и игру в шахматы. В 2017–2019 годах робот прошёл испытания на МКС. Он закручивал болты и использовал инструменты. Космос подразумевает невесомость, радиацию и тесноту, где риски для человека высоки.

Видео испытаний демонстрируют взаимодействие FEDOR с космонавтами. Это не демонстрация, а подтверждение практической ценности. Обучение происходило через телеприсутствие, но сейчас интегрируется ИИ для автономии. Проект FEDOR актуален для космонавтики. На МКС роботы разгружают грузы и мониторят оборудование. В перспективе применение на Луне или Марсе. Без тестов в космосе робототехника ограничилась бы земными условиями.

Конструкция FEDOR включает 28 степеней свободы в руках, аналогично человеческому. Сенсоры в пальцах фиксируют давление для ремонта. Испытания длились месяцы; робот вернулся с данными. Аналоги разрабатываются для Арктики и дальнего космоса. [4]

Главным барьером на пути к естественному движению гуманоидов долгое время оставался «дефицит данных». Традиционный метод Motion Capture слишком дорог и ограничен. Решение в пайплайнах NVIDIA (среда Isaac Gym) знаменует переход к генерации синтетических данных. Motion Capture фиксирует движения актёров в костюмах с маркерами. Данные применяются для обучения роботов ходьбе. Метод требует студии, оборудования и оказывается затратным. Данные ограничены человеческими движениями.

Isaac Gym от NVIDIA создаёт виртуальных роботов для симуляций. Они проходят миллионы падений и учатся вставать за часы на GPU. Синтетические данные реалистичны и позволяют варьировать условия. Статьи NVIDIA описывают обучение робота Atlas в Isaac Gym для улучшения ходьбы. Метод экономичен. Для России он актуален из-за снижения затрат на Мосар.

Проблема Sim-to-Real заключается в расхождениях симуляции и реальности. Domain Randomization меняет параметры симуляции для адаптации. Это революционизирует движение гуманоидов, обеспечивая бег и прыжки вместо шатания.

На данный момент наблюдается отказ от жесткого детерминированного программирования в пользу глубокого обучения с подкреплением (Reinforcement Learning). Благодаря Sim-to-Real роботы обучаются в виртуальных мирах, совершая миллионы итераций за часы. Это даёт физическую устойчивость и адаптивность, недоступные при ручном кодировании. Детерминированное программирование использует if-then правила. В изменяющихся условиях оно неэффективно. RL подразумевает пробу действий с наградами или штрафами.

Симуляторы Isaac Gym и MuJoCo позволяют проходить миллиарды шагов. Перенос в реальность работает для задач вроде прыжков через препятствия у робота ANYmal. Аналогия с обучением ребёнка подчёркивает автономию. В космосе это критично для непредсказуемости. В России RL применяется в FEDOR 2.0 для хватания объектов. Открытые библиотеки OpenAI (Gym, Stable Baselines) доступны для экспериментов. [5]

Синергия доступного образования и высокотехнологичных симуляций стирает грань между искусственной машиной и естественным поведением. Это подготавливает почву для интеграции роботов в человеческую среду. Образование формирует кадры, симуляции развивают навыки, космос проверяет. Школьные конструкторы ведут к студенческим моделям RL и космическим тестам. Роботы переходят от слуг к партнёрам. Роботы уже помогают хирургам, водят в пробках и исследуют планеты. Вызовы включают этику и безопасность, но прогресс продолжается.

Заключение. Подводя итог, современная робототехника стоит на пороге новой эры. Робот перестаёт быть исполнительным механизмом и становится интеллектуальным партнёром. Путь от школьных конструкторов ведёт к системам для открытого космоса и цифровых симуляций. Переход к синтетическому обучению – качественный скачок. Роботы учатся «быть», а не просто выполнять команды. Будущее – в симбиозе человеческого видения и машинной мощности. Робототехника отражает стремление к совершенству и познанию.

Список литературы

1. Habr. Роботы и ИИ: как современные системы осваивают новые навыки [Электронный ресурс] // Habr. – 2024. – URL: https://habr.com/ru/articles/958020/

2. Ferra.ru. Роботы смогли быстрее обучиться новым навыкам [Электронный ресурс] // Ferra.ru: Технологии и жизнь. – 2024. – URL: https://www.ferra.ru/news/techlife/roboty-smogli-bystree-obuchitsya-novym-navykam-17-06-2024.htm

3. NVIDIA Developer. Building a Synthetic Motion Generation Pipeline for Humanoid Robot Learning [Электронный ресурс] // NVIDIA Technical Blog. – 2024. – URL: https://developer.nvidia.com/blog/building-a-synthetic-motion-generation-pipeline-for-humanoid-robot-learning/

4. Роскосмос. Федор: антропоморфный робот на МКС. Отчёт о миссии. 2019. URL: https://www.roscosmos.ru/

5. NVIDIA. Isaac Gym: High-Performance Reinforcement Learning. Технический отчёт. 2021. URL: https://developer.nvidia.com/isaac-gym

6. Sutton R. S., Barto A. G. Reinforcement Learning: An Introduction. 2nd ed. Cambridge, MA: MIT Press, 2018. 552 p. ISBN 978-0262039246.

UDC 608.1

THE EVOLUTION OF ROBOTICS: FROM EDUCATIONAL MODELS TO AUTONOMOUS ANTHROPOMORPHIC INTELLIGENCE

Shukhno A. V., Burak E. M.

Academy of Public Administration under the President of the Republic of Belarus, Minsk, Belarus

Shabanovich R. A. – Mast. of Tech. Sci.

Annotation. The paper examines the evolution of robotics: from educational construction kits to autonomous systems. It analyzes the role of STEM education, the experience of using the anthropomorphic robot FEDOR on the ISS, and the impact of machine learning methods such as reinforcement learning and synthetic simulations. It is shown how the synergy of these directions blurs the line between a machine and an intelligent partner.

Keywords: robotics, STEM education, anthropomorphic robots, FEDOR, reinforcement learning, simulations.

УДК 744:004.9

ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА КАК УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЯЗЫК: ОТ ИДЕИ ДО ПРОТОТИПА

Ефимович В.В., Федосюк А.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Столер В.А. – к.т.н., доцент, профессор кафедры ИКГ

Аннотация. В данной статье мы рассматриваем роль инженерной графики как гибкого, уникального средства коммуникации в передовом проектировании. Показаны этапы развития графического языка от привычных, естественных чертежей до цифровых, автоматизированных 3D-моделей. Так же проводится анализ последовательности этапов трансформирования теоретической идеи в физический, реальный прототип, включая проектирование, монолитное моделирование в САПР и прибавляемое производство. И в заключение подчеркивается значение стандартов ЕСКД и ISO для обеспечения простоты восприятия технической информации специалистами из разных стран.

Ключевые слова: инженерная графика, 3D-моделирование, САПР, реальный прототип

Введение. Инженерная графика – универсальный язык технической коммуникации, трансформирующий идеи в чертежи и 3D-модели [1]. Человечество начало передавать информацию наглядно через наскальную живопись, что предопределило появление письменности. Сегодня графические навыки так же важны для инженеров, как умение говорить и писать [2]. Актуальность темы – в необходимости унифицированной коммуникации между инженерами, дизайнерами и производством на всех этапах: от концепции до изготовления и контроля качества. Цель – анализ процесса превращения идеи в прототип средствами инженерной графики.

Основная часть. Современный процесс проектирования представляет собой четко сформированную последовательность, где графический язык играет ведущую роль. Этот путь от идеи до прототипа можно разделить на несколько основных этапов (рисунок 1). Первый этап – концепт-разработка. На этом этапе идея, сформированная в голове инженера, обретает первые контуры. Эскизы от руки позволяют быстро воспроизвести форму будущего изделия, его пропорции и потенциал [3]. Второй, ключевой этап – 3D-моделирование. С помощью систем автоматизированного проектирования (САПР), таких как КОМПАС-3D или SolidWorks, создается точный цифровой двойник объекта. Модель содержит не только геометрию, но и информацию о вещественной основе, допусках и сопряжениях. Преимущество 3D-модели перед плоским чертежом – возможность всестороннего анализа: контроля совместимости, моделирования предельных состояний (CAE) и генерации цифрового двойника [4].



Рисунок 1 – Основные этапы перехода от идеи до прототипа

Третий этап плотно связан со вторым – это проектирование информационного базиса изделия. Несмотря на мощь 3D-моделирования, производство по-прежнему требует наличия классических двумерных чертежей. На этом этапе формируется детализированный

графический регламент, сборочные чертежи, схемы и спецификации. Именно соблюдение стандартов ЕСКД (Единая система конструкторской документации) и ISO (Международная организация по стандартизации) гарантирует, что чертеж, созданный в Минске, будет обладать когнитивной прозрачностью для инженера в Пекине или Москве. Это делает графику внеязыковой семиотической системой [1]. Финальный этап – создание прототипа. Стереоскопическая CAD-модель служит основой для создания физического прототипа. Современные технологии послойного синтезирования (3D-печать методами FDM, SLA, SLS) или обработка на станках с ЧПУ позволяют превратить цифровую модель в натурное воплощение. Прототип дает возможность оценить антропометрическую совместимость, провести тестирование функциональности и выявить скрытые ошибки проектирования до запуска массового производства, что является очень важным [5]. Исходя из вышеизложенного можно сделать вывод, что инженерная графика не просто обслуживает каждый из этих этапов, но и синтезирует в нерасторжимый континуум. Она выступает инструментом визуализации на этапе эскиза, средством точного расчета и моделирования – на этапе 3D-конструирования, языком коммуникации с производством – на этапе выпуска документации, и базой для изготовления – на этапе создания прототипа.

Заключение. Инженерная графика, претерпев масштабную эволюционную трансформацию от наскальных рисунков до сложных цифровых моделей, выступает фундаментальной константой инженерного дела. Это универсальный язык, понятный специалистам во всем мире благодаря системе стандартов. Рассмотренная в работе последовательность «идея – эскиз – 3D-модель – документация – прототип» наглядно демонстрирует, что именно графическое представление информации является тем связующим звеном, которое превращает умозрительную интенцию в готовое изделие. Дальнейшее развитие этого направления будет связано с углублением интеграции САПР с технологиями виртуальной и дополненной реальности, что откроет новые возможности для коллективной работы над проектами.

Список литературы

1. Инженерная графика: учебник / под ред. А. П. Достанко. – Минск: Беларуская навука, 2020. – 260 с.

2. Бородин, О. Ю. Инженерная графика в нашей жизни / О. Ю. Бородин ; науч. рук. И. В. Толстик // 60-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 23–24 апр. 2024 г. – Минск: БГУИР, 2024. – С. 125–126.

3. Лосев, В. В. Основы автоматизированного проектирования / В. В. Лосев, Е. Б. Бродская. – М.: Радио и связь, 2018. – 312 с.

4. Sze, S. M. Semiconductor Devices: Physics and Technology / S. M. Sze, Lee M. K. – New York: John Wiley & Sons, 2012. – 578 p.

5. Медиаконвертер D-Link DMC-F15SC [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.dlink.ru/ru/products/4/1673.html. . – Дата доступа: 03.03.2026.

UDC 744:004.9

ENGINEERING GRAPHICS AS A UNIVERSAL LANGUAGE: FROM IDEA TO PROTOTYPE

Yefimovich V.V., Fedosiuk A.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Stoler V. A. – Cand. of Sci., associate professor, professor of the department of ECG.

Annotation. In this article, we examine the role of engineering graphics as a flexible and unique means of communication in advanced design. The stages of development of the graphical language are presented, tracing its evolution from familiar, traditional drawings to digital, automated 3D models. The sequence of transforming a theoretical idea into a physical, real prototype is also analyzed, including design, solid modeling in CAD systems, and additive manufacturing. Finally, the importance of ESKD and ISO standards is emphasized as a foundation for ensuring that technical information is easily understood by specialists from different countries.

Keywords: engineering graphics, 3D modeling, CAD, physical prototype

УДК 004.925.8

ИССЛЕДОВАНИЕ ИСКАЖЕНИЙ ВОСПРИЯТИЯ ГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В ИНЖЕНЕРНОЙ ПРАКТИКЕ

Швабо Д.В., Сорокин М.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Гиль С.В. — к.т.н., доцент, доцент кафедры ИКГ

Аннотация. Рассматривается проблема неоднозначности интерпретации графических данных в инженерной деятельности, обусловленная оптическими иллюзиями и когнитивными механизмами восприятия плоских изображений. Выдвигается гипотеза о появлении «цифровых неоднозначностей» в среде CAD-систем.

Ключевые слова: инженерная графика, оптические иллюзии, когнитивная психология, CAD-системы, проектирование, визуальное восприятие

Введение. Современное инженерное образование на факультете компьютерного проектирования (ФКП) БГУИР характеризуется активным внедрением в учебный процесс различных систем автоматизированного проектирования (САПР) в качестве инструмента в изучении инженерной графики. Несмотря на цифровизацию, конечным звеном в цепочке обработки информации остаётся человек – инженер, проектировщик, конструктор или технолог. Критической зоной становится пересечение базовых принципов создания чертежа, лежащих в основе начертательной геометрии – первого раздела инженерной графики, и психологии восприятия, формирующей понятие «когнитивной ясности» чертежа.

Актуальность исследования определяется тем, что двусмысленность в документации провоцирует производственные риски, рост брака и финансовые убытки. Для специальности «Компьютерное проектирование» понимание принципов интерпретации линий мозгом является ключевой компетенцией, позволяющей предотвращать ошибки, не фиксируемые автоматическими валидаторами геометрии.

Основная часть. Чертеж представляет собой графический язык со строгим синтаксисом (ГОСТ) и семантикой. Процесс «чтения» подразумевает реконструкцию пространственного образа объекта по его плоским проекциям [1]. Наблюдается разрыв между формальным (математическим) и неформальным (интуитивным) восприятием.

Формальный подход опирается на алгоритмы начертательной геометрии. Геометрически проекция точки инвариантна, однако совокупность проекций обязана давать однозначный результат. Неформальное прочтение – это мгновенная интерпретация образа до логического анализа. Природа неоднозначности заключается в многовариантности прочтения. При проецировании трехмерного тела на плоскость теряется часть информации. Отсутствие достаточного количества видов или разрезов создает инвариантность, трактуемую в психологии как неопределенность стимула.

Визуальное восприятие является активным процессом «достраивания» образа, а не пассивным копированием. Мозг инженера функционирует как прогностическая система, заполняющая пробелы в данных [2]. На плоскости отсутствуют реальные признаки глубины (стереопсис), поэтому используются вторичные маркеры: перекрытие линий, перспективное сокращение, тени. Основные типы иллюзий:

– куб Неккера: демонстрирует неустойчивость ориентации объекта. В чертежах без штриховых линий деталь может визуально «выворачиваться» (рисунок 1);

– лестница Пенроуза: невозможные фигуры. В CAD-системах при определенных ракурсах возникают визуальные парадоксы, маскирующие пересечения деталей (рисунок 2).

Согласно теории «визуального интеллекта» Д. Хоффмана, человек конструирует мир по определенным правилам [3]. При работе с чертежом эти инстинкты часто конфликтуют со

стандартами. Например, мозг стремится к симметрии: едва заметный скос может игнорироваться, и образ достраивается до привычного прямоугольника.

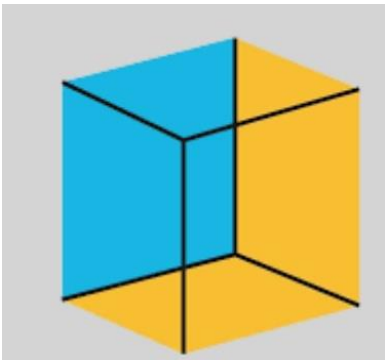


Рисунок 1 – Куб Неккера

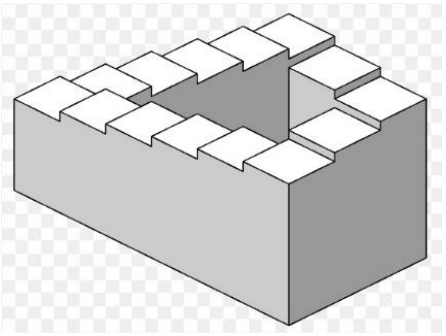


Рисунок 2 – Лестница Пенроуза

Различия в способности «видеть» объем обусловлены развитием пространственного мышления и эффективностью работы вентрального и дорсального потоков обработки информации в коре головного мозга. Изучение дисциплины «Инженерная компьютерная графика» в БГУИР направлена на тренировку этих когнитивных путей, переводя восприятие из области интуиции в область алгоритмического анализа.

Различие между художественной иллюзией и техническим браком заключается в интенции. В инженерии иллюзия – это катастрофа. Потенциальные последствия:

– производственные ошибки: неверная интерпретация уклона или глубины отверстия приводит к порче заготовки;

– коллизии при сборке: в аксонометрии детали могут казаться непересекающимися, тогда как физически монтаж невозможен. Известны случаи, когда из-за удачного ракурса не замечались критические зазоры в системах охлаждения.

Для проверки гипотезы о влиянии иллюзий на восприятие документации авторами было проведено тестирование студентов ФКП БГУИР (выборка: 47 человек, группы 513801–513803). Результаты приведены в таблице 1. Методика включала три теста:

1 Инверсия (Куб Неккера): определение ближней грани каркасного куба без штриховых линий за 5 секунд.

2 «Невозможная фигура»: оценка реализуемости детали в металле по чертежу со скрытым пересечением плоскостей.

3 Семантическая полнота: отличие цилиндрической поверхности от призматической на чертеже вала без осевых линий и знаков диаметра.

Таблица 1 – Результаты тестирования

Тип теста	**Правильные (%)**	**Время (с)**	**Причина ошибки**
Инверсия	42	8,2	Когнитивное переключение
Невозможная деталь	58	12,5	Gestalt-достраивание
Без ЕСКД-меток	33	15,0	Неоднозначность проекции

Система государственных стандартов (ГОСТ) выступает в роли фундаментального механизма снижения неопределенности данных в инженерной графике [3]. Технические приемы визуализации, такие как выполнение разрезов и сечений, необходимы для детализации сложной геометрии: они устраняют визуальное наслоение линий, делая внутреннюю структуру объекта доступной для однозначного анализа. Немаловажную роль играют унифицированные условные обозначения (символы диаметра, квадрата), которые функционируют как жесткие смысловые маркеры, направляя интерпретацию чертежа в строго определенное русло и исключая вариативность понимания формы. Завершающим элементом данной системы являются осевые линии, создающие логический скелет изображения; они

фиксируют оси симметрии и предотвращают возникновение оптических иллюзий, связанных с кажущимся смещением или нарушением пропорций детали.

Концепция применения нейросетевых алгоритмов для оценки психологической понятности проектной документации представляет собой перспективное направление в области технической коммуникации. Современные языковые модели способны анализировать тексты по множеству параметров: сложность синтаксических конструкций, плотность терминологии, логичность изложения и когнитивная нагрузка на читателя.

Практическая реализация подобной системы предполагает обучение модели на размеченных корпусах документации с экспертными оценками понятности, после чего алгоритм способен автоматически выявлять проблемные фрагменты – избыточно сложные предложения, неопределённые референции, логические разрывы между разделами. Результатом становится не просто метрика читабельности, а конкретные рекомендации по улучшению текста с учётом целевой аудитории: разработчик, менеджер или конечный пользователь воспринимают одну и ту же документацию принципиально по-разному.

Ключевое преимущество перед традиционными индексами читабельности (Флеш, Ганнинг Фог) состоит в контекстуальном понимании: нейросеть учитывает не только длину предложений и частотность слов, но и смысловую связность, соответствие терминов предметной области и структурную последовательность требований.

Заключение. В аспекте обеспечения надежности оптические иллюзии и геометрическая многозначность проектной графики выступают существенными факторами инженерного риска. Переход к 3D-моделированию трансформирует данную проблему в плоскость «цифровой неопределенности», где ошибки связаны с интерпретацией виртуальных данных. Для современного инженера чертеж – это интерфейс передачи смыслов от модели к человеку, поэтому совместное применение норм ЕСКД и принципов когнитивной эргономики позволяет снизить вероятность ошибочного прочтения, обеспечивая однозначность документации и надежность технических решений.

Список литературы

1. *Гордон В. О., Семенцов-Огиевский М. А. Курс начертательной геометрии: Учеб. пособие для вузов..: Наука, 2018. – 272 с.*
2. *Хоффман Д. Визуальный интеллект: как мы создаем то, что видим. – М.: Ломоносовъ, 2011. – 304 с.*
3. *ГОСТ 2.305-2008. ЕСКД. Изображения – виды, разрезы, сечения. – М.: Стандартинформ, 2010.*

UDC 004.925.8

STUDY OF GRAPHIC INFORMATION PERCEPTION DISTORTIONS IN ENGINEERING PRACTICE

Shvabo D.V., Sorokin M.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Gil S.V. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ECG

Annotation. The article examines the problem of ambiguity in the interpretation of graphical data in engineering, caused by optical illusions and cognitive mechanisms in the perception of 2D projections. A hypothesis is proposed regarding the emergence of «digital ambiguities» within CAD environments.

Key words: engineering graphics, optical illusions, cognitive psychology, CAD systems, design, visual perception

УДК 004.94 + 621.98

ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ЛИСТОВОЙ ДЕТАЛИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТАХ КОНСТРУКЦИИ С УЧЁТОМ ИНСТРУМЕНТОВ AUTODESK INVENTOR

Суходолов И.А., Павлюченко З.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Гиль С.В. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ИКГ

Аннотация. Работа посвящена анализу влияния параметров сгиба на технологичность листовой детали и возможностям инструментов Autodesk Inventor, применяемых при моделировании таких изделий. Рассматриваются два варианта конструкции – с минимальными и увеличенными радиусами гиба. Особое внимание уделено тому, как выбор команд и настроек Inventor влияет на корректность развертки, качество формообразования и удобство дальнейшего производства.

Ключевые слова: технологичность конструкции, Autodesk Inventor, листовая деталь, развертка, гибка

Введение. В последние годы наблюдается рост интереса к трехмерному моделированию изделий из листового металла, таких как корпуса, панели и кожухи, что связано с необходимостью повышения эффективности производственных процессов. Технологичность конструкции является одним из ключевых свойств изделия, определяющих возможность его изготовления с минимальными затратами при сохранении требуемого качества. В соответствии с ГОСТ 14.205-83 технологичность определяется как «совокупность свойств конструкции изделия, определяющих её приспособленность к достижению оптимальных затрат при производстве, техническом обслуживании и ремонте» [1].

Таким образом, результаты данного исследования могут быть использованы для улучшения процессов проектирования и производства изделий из листового металла, что, в свою очередь, будет способствовать повышению конкурентоспособности предприятий в данной области.

Основная часть. В данной работе рассматриваются два варианта одной и той же листовой детали, отличающиеся величиной радиусов гиба:

1 Вариант А – минимально допустимые радиусы гиба (Равные толщине детали).

2 Вариант Б – увеличенные радиусы гиба. (Увеличены в 3 раза).



Рисунок 1 – Вариант А – развертка с минимально допустимыми радиусами гиба



Рисунок 2 – Вариант Б – развертка с увеличенными радиусами гиба

Листовые детали формируются из плоской заготовки путём гибки по заданным линиям. Основные параметры, влияющие на технологичность: толщина материала, минимально допустимый радиус гиба, количество гибов и их взаимное расположение, точность развертки, необходимость компенсации пружинения, доступность инструмента при гибке.

Autodesk Inventor предоставляет специализированный набор команд для создания и редактирования листовых деталей. Каждая команда имеет диалоговое окно, где можно задать параметры сгиба, тип расчёта развертки и метод компенсации пружинения. Это критически важно для оценки технологичности.

Среди основных команд: Flange (Фланец) – создание базового изгиба от кромки, Contour Flange (Фланец по контуру) – построение сложного профиля по эскизу, Edge Flange (Отбортовка) – усиление кромок, Bend (Сгиб) – добавление гиба между участками, Lofted Flange (Лофтированный фланец) – переход между разными профилями [2]. В каждой из них задаются радиус, угол, направление, а также тип сгиба: от внутренней поверхности, от наружной или двунаправленный. Дополнительно можно задать коэффициент K-factor, метод расчёта развертки (по таблице, по формуле, по умолчанию), а также параметры компенсации пружинения и тип инструмента.

Для данного исследования наиболее важным является диалоговое окно настройки фланца, а именно параметр «Положение сгиба». Он определяет, как материал будет деформироваться:

– от внутренней поверхности: внутренний радиус сохраняется, внешний растягивается;

– от наружной поверхности: наружный радиус сохраняется, внутренний сжимается;

– двунаправленное (относительно базовой кромки): сгиб формируется симметрично.

Выбор этого параметра напрямую влияет на итоговую длину развертки и, как следствие, на точность раскроя заготовки.

Таблица 1 – сравнение вариантов сгиба

Показатель	**Вариант А (минимальные радиусы)**	**Вариант Б (увеличеные радиусы)**
Стабильность геометрии развертки	Высокая чувствительность к параметру «Положение сгиба». Смена положения (внутрь/наружу) даёт значительное изменение площади развертки.	Низкая чувствительность к положению сгиба. Изменение положения слабо влияет на итоговые габариты развертки, что упрощает подбор заготовки.
Учет пружинения	Компенсацию пружинения (угла отскока материала) сложно заложить в модель, требуются отдельные расчеты и корректировка угла вручную.	Меньшая упругая деформация. Угол после гибки ближе к заданному в модели, что снижает необходимость корректировки.

Продолжение таблицы 1

Визуальный контроль дефектов	Инструмент «Анализ углов» и «Эпюры напряжений» (при наличии соответствующих модулей) покажет зоны экстремального растяжения/сжатия на внешней стороне гиба.	Зоны деформации визуально более гладкие, эпюры напряжений показывают равномерное распределение нагрузки по зоне гиба.
Сложность инструмента	Модель требует применения в производстве специальных пуансонов с малым радиусом, что усложняет подбор оснастки по каталогам стандартных инструментов [5].	Модель совместима с большинством стандартных радиусов пуансонов, что ускоряет переход от проектирования к производству [5].

Вариант А – минимальные радиусы гиба (R = t). Минимальный радиус гиба выбирается исходя из толщины материала и его пластичности [4]. Такой вариант обеспечивает компактность детали, но вызывает ряд технологических ограничений: требуется более точное оборудование, повышается риск появления трещин на внешнем слое, возрастает чувствительность к погрешностям развертки, возможна необходимость применения специальных пуансонов.

Вариант Б – увеличенные радиусы гиба (R = 3t). Увеличение радиуса гиба приводит к: снижению напряжений в зоне деформации, уменьшению вероятности дефектов, повышению стабильности размеров, упрощению развертки [4]. Однако увеличенные радиусы могут ухудшить компоновку изделия и увеличить габариты.

Заключение. Проведённое моделирование показало, что увеличенные радиусы гиба значительно повышают технологичность детали. Вариант с минимальными радиусами требует наличия специальных инструментов, чувствителен к погрешностям развертки и даёт высокий риск брака из-за пружинения. Вариант с увеличенными радиусами, напротив, обеспечивает стабильность геометрии, позволяет использовать стандартное оборудование и снижает число производственных корректировок. Таким образом, при отсутствии жестких компоновочных ограничений предпочтительно применять увеличенные радиусы гиба – это оптимальное сочетание качества и производственной эффективности [3].

Список литературы

1. ГОСТ 14.205–83. Система технологической подготовки производства. Технологичность конструкции изделия. Термины и определения.

2 Autodesk Inventor Help – Sheet Metal Design

3. Кузнецов В. Е., Левин И. М. Технологичность конструкций машин. – М.: Машиностроение, 2005.

4. Горячев А. М. Технология обработки листового металла: гибка, штамповка, резка. – СПб.: Питер, 2016.

5. Шепелев В. П. Проектирование технологических процессов изготовления деталей. – М.: Форум, 2017.

UDC 004.94 + 621.98

EVALUATION OF THE PROCESSABILITY OF A SHEET PART IN VARIOUS DESIGN OPTIONS USING AUTODESK INVENTOR TOOLS

Suhodolov I.A., Pavlyuchenko Z.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Gil S.V. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ECG

Annotation. This work is devoted to the analysis of the influence of the bending parameters on the processability of a sheet part and the capabilities of the Autodesk Inventor tools used in the modeling of such products. Two design options are considered: with minimal and increased bending radii. Special attention is paid to how the choice of Inventor commands and settings affects the correctness of the unfolding, the quality of shaping, and the convenience of further production.

Keywords: design technology, Autodesk Inventor, sheet part, unfolding, bending

УДК 004.921

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕРАКТИВНЫХ 3D-МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАРКЕТИНГА

Духовская С.О., Василюк В.Ю.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Гиль С.В. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ИКГ

Аннотация. Статья исследует влияние интерактивной 3D-графики на ключевые метрики цифрового маркетинга. Основным инструментом для создания такого контента выступает Blender. На примере Nike, IKEA, Apple и автопроизводителей показано: использование 3D повышает конверсию онлайн-торговли почти вдвое.

Ключевые слова: интерактивные 3D-модели, Blender, цифровой маркетинг, визуализация продукции, WebGL, рекламная анимация

Введение. Вместо обычных картинок компании всё чаще выбирают интерактивные 3D-модели. Blender применяется для создания объёмной графики без потери качества. Цифровой маркетинг получает новые инструменты благодаря трёхмерным сценам. Продукцию теперь можно показать под любым углом – зритель сам управляет обзором. WebGL позволяет запускать модели прямо в браузере, установка не требуется. Рекламная анимация становится живее за счёт плавного движения и реалистичного освещения. Формат glTF упрощает передачу данных между платформами, он лёгкий и открытый.

Основная часть. Сегодняшнее обилие информации делает классическую рекламу – например, обычные баннеры или видео по порядку – всё менее заметной; люди перестают их замечать [1]. Вместо одностороннего послания клиент теперь ждёт возможности взаимодействовать. Именно здесь 3D-модели с элементами управления приобретают значение: они стирают границу между реальным магазином и онлайн-пространством [2].

В маркетинге под интерактивной 3D-визуализацией имеют в виду не столько показ полигональной модели, сколько построение сцены, меняющейся при взаимодействии человека. Пользователь может внимательно рассмотреть продукт – это помогает восполнить недостаток физического контакта во время онлайн-покупок [4].

Исследование методов компаний - лидеров рынка выявляет особенности внедрения трёхмерной графики, зависящие от специфики сферы. Так, в fashion-индустрии Nike применяет платформу Nike By You: здесь изображение генерируется прямо в браузере покупателя. Благодаря этому клиент может подбирать ткани и расцветку деталей обуви самостоятельно, ощущая причастность к дизайну товара – это усиливает приверженность марке [5].

Часто люди колеблются перед покупкой мебели – им трудно представить, как она впишется в пространство. Приложение IKEA Place предлагает взглянуть на предмет интерьера прямо в своей комнате, благодаря функциям дополненной реальности. Тени и свет при этом остаются естественными, масштаб точный. Как показывают цифры от компании, число возвращаемых товаров упало почти на треть: теперь клиентам проще выбрать подходящее. Это решение помогло сделать процесс менее рискованным для покупателя [6].

Компании вроде Apple полагаются на детализированное изображение. Их устройства на сайтах показывают через 3D, применяя карты нормалей вместе с PBR – эффект почти как живое изделие перед глазами. Вращая модель, человек осматривает разъёмы и поверхности, благодаря чему меньше приходится читать характеристики [7].

Ниже представлена сравнительная таблица 1, демонстрирующая разницу в ключевых показателях продаж для компаний Nike, IKEA и Apple.

Таблица 1 – Сравнение эффективности маркетинга с 3D-моделями и без них

Компания	**Показатель**	**Без 3D-моделей**	**С 3D-моделями**
NIKE	Выручка	$36.4 млрд (2018)	$46.7 млрд (2022)
	Рост выручки	Базовый показатель	+28% за 4 года
	Время на сайте	Средний показатель	7 минут в среднем
	Возвраты	27% в индустрии	Снижение на 15-20%
	Трафик	Стандартный	60 млн посещений/мес
IKEA	Скачивания AR-приложения	–	8+ млн загрузок
	Точность визуализации	–	98% точности масштаба
	Конверсия	Базовая	+11% с IKEA Place
	Вероятность покупки	Стандартная	+65% с AR
	Каталог CGI	Фотографии (2006)	75% CGI (2014)
APPLE	Предзаказы	Стандартный уровень	Рост на 20-30%
	Вовлечённость	2D изображения	3D просмотр iPhone
	Уверенность покупателя	Средняя	Высокая (AR preview)
	Время принятия решения	Дольше	На 25% быстрее

Сложнее всего внедрение проходит в автопроме. Виртуальные салоны у Mercedes-Benz и Audi – это уже не просто выбор комплектаций, а почти осязаемый опыт. Тут имеет значение не столько сам кузов, сколько живое взаимодействие: открой дверь, поменяй ткань сидений или проверь, как загораются лампочки на панели. Чтобы картинка летала ровно по 60 кадров в секунду даже на смартфоне, приходится аккуратно вычищать лишние полигоны, не подменивая детализацию [4].

Что касается практического применения, Blender содержит всё нужное для адаптации 3D-моделей под интернет. Работа проходит через ряд важных шагов. Начинается это с упрощённой геометрии – её получают либо с помощью инструмента Decimate, либо перестраивая сетку вручную. Затем детали с объёмной версии переносятся на простую: так передаются тени и микрорельеф при помощи bake текстур нормалей и освещения. Третий момент – адаптация материалов под возможности движков, работающих в режиме реального времени: вместо объёмных процедурных решений, выбирают обычные растровые текстуры. Формат выгрузки – glTF 2.0, подходящий для сред на базе WebGL; он позволяет эффективно упаковывать как модели, так и изображения [5].

У рекламных баннеров с 3D-графикой кликабельность обычно на треть выше, чем у обычных. Причина – пользователи дольше задерживаются на элементах, которые можно крутить или приближать. Такое поведение платформы замечают и начинают чаще показывать объявление. Но если сцена грузится больше трёх секунд, эффект теряется из-за массового закрытия страниц. Критичность скорости загрузки иллюстрирует исследование поведения пользователей (рисунок 1).



Рисунок 1 – Как влияет скорость загрузки на заинтересованность пользователя

Важно успеть зацепить взгляд до первого движения мыши.

Заключение. Исследование показывает: интерактивные трёхмерные модели теперь не просто новинка – они стали необходимы там, где важна наглядность продукта. Благодаря Blender, создание таких материалов становится систематичным, затраты при этом снижаются. Впереди – внедрение сетей для автоматического нанесения покрытий и упрощение структуры мешей; это постепенно снимет барьеры для массового входа в 3D-маркетинг.

Список литературы

1. Smith, J. Digital Attention Economy / J. Smith. – New York : Marketing Press, 2022. – 210 p.

2. WebXR Device API Specification [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.w3.org/TR/webxr/.

3. Kumar, V. The Impact of 3D Visualization on E-commerce Conversion / V. Kumar // Journal of Retailing. – 2023. – Vol. 45, № 2. – P. 112–125.

4. Automotive UX Trends 2024 / G. Müller [et al.]. – Berlin : AutoTech Verlag, 2024. – 150 p.

5. Foundation. Blender 3.6 Release Notes [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.blender.org/download/.

6. Maionic:3D Configurators: Nike's Secret Tool For Changing Trends, 2024

7. Smart Spatial:Apple iPhone 17 3D visualization analysis, 2025

UDC 004.921

USING INTERACTIVE 3D MODELS TO IMPROVE MARKETING EFFECTIVENESS

Dukhouskaya S.O.,Vasilyuk V.Y.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Gil S.V. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ECG

Annotation. This article examines the impact of interactive 3D graphics on key digital marketing metrics. Blender is the primary tool for creating such content. Using examples from Nike, IKEA, Apple, and automakers, it shows that using 3D nearly doubles online sales conversion rates.

Keywords: interactive 3D-models, Blender, digital marketing, product visualization, WebGL, advertising animation

УДК 004.946:614.8:615.825

ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ИММЕРСИВНЫХ СИСТЕМ В ИНДУСТРИИ И МЕДИЦИНЕ

Лешкович С.С., Красовская Д.Ю.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Марамыгина Т.А. – ст. преподаватель кафедры ИКГ

Аннотация. В статье представлен сравнительный анализ использования технологий виртуальной реальности в промышленном и медицинском секторах по состоянию на 2026 год. Рассмотрены технические особенности внедрения VR-симуляторов в Республике Беларусь и международный опыт использования дихоптической визуализации в нейрореабилитации. Особое внимание уделено алгоритмическим аспектам построения иммерсивных сред.

Ключевые слова: виртуальная реальность, процедурная память, дихоптрический рендеринг, промышленная безопасность

Введение. Виртуальная реальность (VR) – это ехнология, которая погружает человека в полностью цифровой мир, где можно взаимодействовать с объектами почти как в реальности. К 2026 году VR сильно выросла: из простых «посмотреть и поиграть» она превратилась в серьёзные симуляторы, которые реально влияют на работу мозга и когнитивные способности. В нашем докладе мы сравнили, как VR применяют в Беларуси и в мире – особенно в двух направлениях: промышленность и медицина (реабилитация, терапия). Интересно, что несмотря на разные сферы, в основе всех этих проектов лежат очень похожие технические принципы создания цифрового контента. Например, в промышленных тренажёрах РУП «Витебскэнерго» (у них есть крутой VR-комплекс «Виртуальная подстанция») главное – добиться максимальной реалистичности картинки. Здесь используют специальные алгоритмы физически правильного рендеринга, чтобы оборудование выглядело точно, как настоящее. Это критично, когда человек учится диагностировать неисправности или отрабатывает действия в опасных условиях – ошибка может дорого стоить. А в медицинских приложениях, например, в системах для лечения амблиопии (ленивого глаза), фокус совсем другой. Здесь важно точно разделять картинку между глазами: одному показывают ярче/чётче, другому – с пониженным контрастом или с маской части изображения. Это называется дихоптическая стимуляция – она заставляет мозг заново учиться работать обоими глазами вместе, активируя зрительную кору по-новому. Получается, что VR уже давно вышла за рамки просто «красивой визуализации». Теперь это инструмент, который напрямую воздействует на биологию человека – тренирует мозг, восстанавливает зрение, учит навыкам в безопасной среде.

Основная часть. В начале 2026 года в Республике Беларусь отмечается формирование собственного комплекса технологических решений в области иммерсивного обучения. Ключевой особенностью является модель инноваций «снизу вверх», где инженерные инициативы специалистов адаптируются под государственные задачи безопасности.

Наглядным примером является VR-тренажер МЧС, разработанный для обучения детей поведению в чрезвычайных ситуациях [1]. Система генерирует критические сценарии: пожары в жилых помещениях, грозовую активность и дезориентацию в лесных массивах. Практическая ценность и значимость проекта заключается в том, что VR-тренажер позволяет довести действия до автоматизма. Вместо заучивания правил безопасности, человек многократно проживает ситуацию в виртуальной среде. Это задействует процедурную память – механизм, отвечающий за формирование устойчивых навыков. В результате у человека вырабатывается своего рода «мышечная память» на правильные действия в экстремальной ситуации. То есть в реальной опасности мозг не будет тратить время на раздумья, а сработает автоматически, воспроизводя уже отработанный в виртуальной реальности сценарий, что критически важно для сохранения самообладания в чрезвычайных ситуациях.

В промышленном секторе особого внимания заслуживает разработка предприятия «Витебскэнерго» – специализированная обучающая среда по охране труда [2]. Проект основывается на принципе преобладания виртуального опыта над реальным. Суть его проста: прежде чем человек получит доступ к работе с опасным высоковольтным оборудованием, он должен доказать свое мастерство в безопасном цифровом пространстве. Такой подход позволяет новичку совершать ошибки, не подвергая риску свое здоровье или дорогое оборудование. Программа имитирует производственную ситуацию, а автоматизированная система оценивает поведение сотрудника. Только после того, как все алгоритмы действий (от проверки заземления до последовательности переключений) будут подтверждены безупречным результатом в очках виртуальной реальности, специалист допускается к работе на реальном объекте. Важно подчеркнуть, что этот проект является примером полной технологической независимости. Весь программный код, логика сценариев и трехмерные модели оборудования созданы белорусскими инженерами и методистами. Это не просто копия зарубежных аналогов, а продукт, учитывающий специфику наших энергообъектов и национальные стандарты безопасности.

Однако потенциал подобных разработок выходит далеко за рамки промышленности, поскольку создание любой иммерсивной системы – это прежде всего решение сложнейших задач в области компьютерной графики. Если в тренажерах для энергетиков инженеры делают ставку на физически корректную визуализацию (так называемый метод PBR), то в мировой клинической медицине те же графические технологии используются для прямого воздействия на здоровье человека. Ярким примером такого подхода является метод раздельного (дихоптического) вывода изображения, который успешно применяется для лечения амблиопии. Амблиопия – заболевание, известное как «ленивый глаз»[3]. Технически ее лечение реализуется через глубокую настройку графического конвейера: программа разделяет видеопоток на этапе формирования изображения. Вместо одного стандартного кадра система создает два независимых буфера кадра – Eye Buffers. Благодаря этому становится возможным дифференцированный вывод графики: в буфер левого глаза передаются одни элементы сцены, а в буфер правого – другие, дополняющие их. Например, в специализированных версиях игры «Тетрис» один глаз видит только падающие фигуры, а другой – только стакан, в который их нужно поместить. Такое искусственное разделение картинки заставляет мозг активно включаться в работу и объединять два изображения. Этот процесс стимулирует естественную пластичность мозга и постепенно восстанавливает полноценное объемное зрение. Последние научные данные за 2025-2026 годы подтверждают высокую эффективность таких тренировок: всего за 10-20 часов занятий в виртуальной реальности острота зрения пациентов повышается. Таким образом, графические алгоритмы, которые создавались для визуализации, превращаются в действенный инструмент нейрореабилитации.

Помимо офтальмологии, технологии виртуальной реальности показывают впечатляющие результаты в лечении сложных неврологических состояний, таких как болезнь Паркинсона [4]. Опираясь на последние клинические отчеты за начало 2026 года, использование VR-тренажеров позволяет значительно улучшить двигательную активность пациентов. Это происходит во время создания игровых сценариев, требующих от человека точно скоординированных движений в виртуальном пространстве. Например, пациенту необходимо обходить препятствия или ловить виртуальные объекты. Благодаря высокой частоте обновления кадров и точному отслеживанию движений рук и ног, мозг получает мгновенную визуальную обратную связь. Это стимулирует создание новых нейронных связей в обход поврежденных участков мозга. Статистика подтверждает: у группы пациентов, регулярно проходивших VR-тренинги, наблюдается значимое улучшение координации и скорости ходьбы. Инженерная ценность таких систем заключается в возможности настройки под каждого человека, что превращает обычный шлем виртуальной реальности в полноценный медицинский аппарат. Это еще раз доказывает, что иммерсивное программное обеспечение – это не просто визуальная оболочка, а инструмент глубокого воздействия на биологические процессы организма.

Особое место в современной медицине 2026 года занимает использование виртуальной реальности для борьбы с фантомными болями [5]. Это состояние, при котором человек продолжает чувствовать мучительную боль в ампутированной конечности, возникает из-за

«ошибки» в работе головного мозга: он посылает сигналы к отсутствующей руке или ноге и, не получая ответа, интерпретирует это молчание как сигнал сильной боли. Инженерное решение этой проблемы: пациент надевает VR-шлем, в котором создается точная копия его тела. С помощью датчиков движения система отслеживает жесты здоровой конечности и зеркально отображает их на месте отсутствующей в виртуальном пространстве. Когда человек видит в цифровом мире свою «восстановленную» руку, которая плавно двигается и выполняет команды, его мозг получает визуальное подтверждение того, что конечность на месте и с ней всё в порядке. Этот процесс, называемый протоколом целевой нейрореабилитации (TBR), буквально «перепрошивает» нейронные связи. Статистика начала 2026 года показывает, что уровень боли у пациентов снижается примерно в два раза – с 4.9 до 2.4 баллов по международным шкалам. Таким образом, виртуальная реальность является не просто как визуальным аттракционом, а своего рода «цифровым обезболивающим», позволяя пациентам возвращаться к нормальной жизни без тяжелых медикаментов.

Заключение. К началу 2026 года в Республике Беларусь сформировалась устойчивая технологическая база для развития иммерсивных систем. Проекты в сфере промышленной и общественной безопасности уже доказали свою эффективность. Они работают на уровне мировых стандартов. И хотя задачи у инженеров-энергетиков и медиков радикально различаются, их объединяет общая технологическая основа: использование эффекта присутствия для формирования устойчивых навыков и управление графическим контентом.

Тот опыт, который был получен при разработке тренажеров для МЧС и энергосектора, открывает реальные перспективы для создания отечественных медицинских VR-платформ. Мы научились использовать виртуальную реальность для визуализации сложных технологических процессов, следовательно, использование VR-технологий в медицине – это лишь вопрос времени. Дальнейший прогресс в этой области зависит не только от мощности графических процессоров, но и от тесного взаимодействия инженеров, врачей и педагогов. Именно такой состав команды позволит превратить виртуальную реальность из простого средства визуализации в по-настоящему нужный инструмент для развития человека.

Список литературы

1. *Мини-центр безопасности «Центр 112» открылся в Гродно / Новости Гродно [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.grodnoplustv.by/index.php/novosti/item/24073-mini-tsentr-bezopasnosti-tsentr-112-otkrylsya-v-grodno. Дата доступа: 01.03.2026.*

2. *Виртуальную систему обучения охране труда презентовали в «МИТСО» [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://vitebskbelproftrans.by/virtualnuyu-sistemu-obucheniya-ohrane-truda-prezentovali-v-mitso.html. Дата доступа: 02.03.2026*

3. *Hess, R.F. Dichoptic training enables binocular vision in adults with amblyopia / R.F. Hess, B. Thompson, G. Baker // Current Biology. – 2013. – Vol. 23, № 9. – P. 826-831[Электронный ресурс]. Режим доступа:https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23618662/. Дата доступа: 04.03.2026*

4. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation. VR training in Parkinson's disease: randomized controlled trial/J. Yu., J. Wu [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://link.springer.com/article/10.1186/s12984-023-01256-y. Дата доступа: 04.03.2026*

5. *Journal of Hand Therapy. Targeted Brain Rehabilitation (TBR) protocol for phantom limb pain/ Calvin C. Chandler, Ryan P. Serbin [Электронный ресурс]. Режим доступа:https://www.jhandtherapy.org/article/S0894-1130(25)00202-9/Annotation. Дата доступа: 04.03.2026*

UDC 004.946:614.8:615.825

APPLIED ASPECTS OF IMMERSIVE SYSTEMS IN INDUSTRY AND MEDICINE

Leshkovich S.S., Krasovskaya D.Y.

Belarusian State University of Informatics and Radio electronics, Minsk, Republic of Belarus

Maramygina T.A. – senior lecturer at the department of ECG

Annotation. The paper provides a comparative analysis of the use of virtual reality technologies in the industrial and medical sectors as of 2026. Technical features of the implementation of VR simulators in the Republic of Belarus and international experience in using dichoptic rendering in neurorehabilitation are considered. Particular attention is paid to the algorithmic aspects of constructing immersive environments.

Keywords: virtual reality, immersiveness, procedural memory, dichoptic rendering, industrial safety

УДК 004.8:004.94:004.942:530.1

ОБУЧЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ФИЗИКЕ МИРА С ПОМОЩЬЮ WORLD MODELS

Минченко Д.Н.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Марамыгина Т.А. – ст. преподаватель кафедры ИКГ

Аннотация. Статья посвящена анализу качественного скачка в развитии искусственного интеллекта, произошедшему в 2025–2026 годах. Этот период характеризуется переходом от языковых моделей, которые умеют «говорить», к мировым моделям (World Models), которые понимают принципы физики.

Ключевые слова: искусственный интеллект, World models, LLM, воплощенный интеллект, физический ИИ, смена парадигмы

Введение. Представим «существо», которое прочитало миллиарды книг, выучило все энциклопедии мира, цитирует Э. Канта и пишет дипломы, но при этом оно никогда не держало в руках камень, не роняло чашку, не толкало тележку в супермаркете. Если его спросить: «Что будет, если положить тяжелую книгу на пустую коробку из-под обуви?», то получим правильный текстовый ответ – потому что в книгах написано «коробка сомнется». Однако, такое существо не понимает почему, так как у него нет внутренней модели физики мира [1].

Такими «существами» и являются ChatGPT, Claude, Gemini и другие большие языковые модели (LLM). Их фундаментальное ограничение доказано: LLM обучаются на текстах, предсказывая следующее слово по предыдущим [2]. Такие модели не имеют никакого опыта взаимодействия с реальностью. Они как будто «головы в банке», подключенные ко всем библиотекам мира.

Настоящая статья ставит целью объяснить, что такое World models простыми словами, показать реальные прорывы января-февраля 2026 года и доказать: 2026 год стал водоразделом, после которого ИИ перестал быть просто «разговорчивым библиотекарем» и начал осваивать физический мир [3].

Основная часть. Простыми словами world model – это внутреннее представление среды в «голове» искусственного интеллекта, которое позволяет ему предсказывать последствия своих действий. Например, можно считать, что у пятилетнего ребенка есть world model. Он знает: если толкнуть стакан, он упадет, если уронить яйцо, то оно разобьется, а большой кубик нельзя поставить на маленький, потому что конструкция упадет. LLM не знают этого. Они знают только, что слова «стакан», «упал», «разбился» часто встречаются рядом.

Главное отличие между рассматриваемыми моделями заключается в следующем:

– модели LLM предсказывают следующее слово, а World models предсказывают следующее состояние мира;

– LLM видят корреляцию, а World models понимают причину и следствие;

– LLM пишут план действий, World models проигрывают этот план в голове, проверяя его на внутренней модели реальности [4].

Янн ЛеКун, лауреат премии Тьюринга и ведущий исследователь ИИ, объясняет World models следующим образом: «Вы можете вообразить последовательность действий, которые собираетесь совершить, и ваша World model позволит вам предсказать, каким будет эффект этих действий на мир». Именно такой способности предугадывать последствия и лишены современные языковые модели, и именно эту способность разработчики пытаются дать им сегодня.

На наш взгляд одним из важных событий было открытие китайской компанией Ant Lingbo (дочерняя компания Alibaba) исходного кода модели LingBot-VA, который она

представила 10 февраля 2026 года [5]. Это первая реализация принципа «авторегрессивное видео-действие», которое заключается в том, что робот не просто выполняет заученные движения, а изучает задачу, проигрывает в голове несколько вариантов решения, выбирает тот, который с наибольшей вероятностью приведет к успеху, выполняет задачу и корректирует себя в реальном времени. Для обучения новой задаче LingBot-VA достаточно 30-50 демонстраций, а для других моделей требовались тысячи. Такие задачи, как складывание мягкой одежды, заправка постели, аналогов.

Практически одновременно командами Стэнфорда и NVIDIA была опубликована Cosmos Policy. Cosmos Policy ломает все шаблоны и представляет собой чистую видеогенерацию, превращенную в управление роботом. От обычного подхода, когда модель VLA смотрит картинку, читает текст, выдает действие, в модели Cosmos Policy используется подход генерации видео того, что должно произойти, из которого извлекаются управляющие команды для робота. Рассмотрим, зачем это нужно? Так как видеоданных в мире миллиарды часов, а данных о работе роботов часы, то Cosmos Policy позволяет использовать гигантские массивы обычных видео для обучения физическому интеллекту. Успешность Cosmos Policy на бенчмарке LIBERO, стандарте для тестирования роботов, составляет 98,5 %, что является абсолютным рекордом

Платформа NVIDIA Cosmos, которая была анонсирована на CES 2025, к январю 2026 уже скачана более 2 миллионов раз. Основными клиентами данной платформы являются: Uber, Figure AI, Waabi, XPENG, 1X, то есть все, кто делает реальные роботы и беспилотники [3]. Цель NVIDIA состоит в создании ChatGPT-момент для робототехники».

Поэтому ключевым понятием 2026 года и стало контрфактическое мышление, которое заключатся в том, что робот учится задавать вопрос: «А что будет, если я сделаю по-другому?». Система DreamZero от NVIDIA реализует это через совместное предсказание будущего видео и соответствующих действий, т.е. робот больше не имитатор, а становится мыслителем.

Рассмотрим в чем же состоит технологическая суть современных моделей. Раньше роботов учили сначала создать виртуальную среду, натренировать в ней миллионы итераций и перенести на реального робота. При это возникала проблема, что симулятор никогда не совпадает с реальностью на 100 %, так как симулятор не знает ни физики жидкостей, ни деформации мягких материалов, ни сенсорных шумов и т.п. Главный ученый компании Ant Lingbo считает, что «Sim-to-Real – не наш основной технический путь. Мы используем физические данные реального мира плюс интернет-видео».

Второе ключевое понятие – это принцип «один мозг – много тел». Принцип традиционной робототехники, когда под каждую конструкцию робота разрабатывается своя программа. Например, если сменили захват, то соответственно, надо переписать и управление. Новая парадигма заключается в том, что разрабатывается универсальный мозг, так называемая, базовая модель, которая может управлять любым телом: двуногим, четвероногим, колесным, с двумя захватами или с пятью пальцами. LingBot-VLA адаптирован под 9 различных промышленных конфигураций роботов. Смысл такой же, как и в Android, то есть одна операционная система может использоваться для тысяч моделей смартфонов. В 2026 году такой подход используется и в робототехнике.

Ключевым моментом стало проведение в феврале 2026 года крупнейшей конференции по робототехнике ICRA, на которой работала отдельная секция «World Models» [6] и академическое сообщество официально признало, что World models – это магистральный путь к следующему поколению искусственного интеллекта [7].

Однако, в настоящий момент, для развития World models существуют определённые ограничения. Например, модели LLM учились на триллионах слов, а для World models необходимы триллионов кадров взаимодействия с физическим миром. Таких данных пока нет. NVIDIA Cosmos тренировался на 9000 триллионов токенов из 20 миллионов часов видео, а это требует инфраструктуры, доступной лишь нескольким корпорациям мира.

Ученый, один из основателей современного глубокого обучения Янн ЛеКун признает, что еще не известно точно, как именно должна быть устроена идеальная World model. I-JEPA, DreamZero, Genie 3, LingBot-VA, Cosmos Policy являются только экспериментом, а не финальным решением, сохраняется еще теоретическая незавершенность.

Заключение. 2026 год войдет в историю искусственного интеллекта как год, когда ИИ перестал быть «головой в банке». Он начал обретать тело и через это тело понимать физику мира.

На основе проведенного исследования, можно выделить четыре аспекта, которые подтверждают эту смену парадигмы:

– технологический: LingBot-VA, Cosmos Policy, Motus доказали, что World models работают на реальных роботах, превосходя старые подходы на 20–35%;

– институциональный: Янн ЛеКун, главный авторитет в глубоком обучении, ставит на World models свою репутацию и 500 миллионов евро инвестиций;

– индустриальный: NVIDIA Cosmos скачан 2 миллиона раз, а Uber, Figure, Waabi внедряют физический ИИ в свои продукты;

– академический: ICRA и IEEE вводят World models в мейнстрим научной повестки.

Люди научили ИИ понимать, что камень упадет, но пока не научили его учиться физике так же эффективно, как пятилетний ребенок, потому что ребенку достаточно трех падений, роботу – тысячи демонстраций. Однако направление задано, и обратного пути нет.

Можно сказать, что 2026 год стал годом, когда ИИ наконец вышел из библиотеки в реальный мир.

Список литературы

1. Brodsky, S. World models help AI learn what five-year-olds know about gravity / S. Brodsky // IBM. – 2025. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.ibm.com/think/news/cosmos-ai-world-models. Дата доступа: 24.02.2026.

2. Крыжный, А. ИИ-компании делают шаг в направлении создания суперинтеллекта / А. Крыжный // Экономическая правда. – 29.09.2025. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://epravda.com.ua/rus/tehnologiji/ii-kompanii-delayut-stavku-na-mirovye-modeli-812197/. Дата доступа: 26.02.2026.

3. Crosley B. World Models Race 2026: How LeCun, DeepMind, and World Labs Are Redefining the Path to AGI / B. Crosley // Introl Blog. – 02.01.2026. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://introl.com/blog/world-models-race-agi-2026. Дата доступа: 26.02.2026.

4. World Models in Artificial Intelligence: Sensing, Learning, and Reasoning Like a Child / Javier Del Ser, Jesus L. Lobo, Heimo Müller, Andreas Holzinger // arXiv. – 2025. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://arxiv.org/abs/2503.15168. Дата доступа: 26.02.2026.

5. 世界模型驱动：具身智能告别»盲动»时代 = Мировая модель: воплощённый интеллект прощается с эпохой «слепого движения» // 36kr.com. – 2026. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://36kr.com/p/3678363993252488. Дата доступа: 24.02.2026.

6. Competitions: AgiBot World Challenge // IEEE ICRA 2026. – 10.11.2025. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://2026.ieee-icra.org/program/competitions/#agibot. Дата доступа: 26.02.2026.

7. Digital Twins and World Models: Bridging Next-Generation AI, Wireless, and Robotics Systems // IEEE ComSoc. – 05.02.2026. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://r2.ieee.org/event/ieee-comsoc-2026-lecture-series/. Дата доступа: 26.02.2026.

UDC 004.8:004.94:004.942:530.1

TEACHING ARTIFICIAL INTELLIGENCE THE PHYSICS OF THE WORLD USING WORLD MODELS

Minchanka M.D.

Belarusian State University of Informatics and Radio electronics, Minsk, Republic of Belarus

Maramygina T.A. – senior lecturer at the department of ECG

Annotation. The article examines the qualitative leap in the development of artificial intelligence that occurred in 2025-2026. This period is characterized by a transition from language models capable of “speaking” to World Models that understand the principles of physics.

Keywords: artificial intelligence, World Models, LLM, embodied intelligence, physical AI, paradigm shift

УДК 69.059:72.025+378

ЦИФРОВЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ПРИ ОБУЧЕНИИ СТУДЕНТОВ СТРОИТЕЛЬНОГО ВУЗА АСПЕКТАМ СОХРАНЕНИЯ ИСТОРИЧЕСКОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

Тарасова А.В.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет, г. Новосибрск

Научный руководитель: Тен М.Г. – ст. преподаватель кафедры ИКГ

Аннотация. В статье исследованы проблемы сохранения исторического архитектурного наследия города Новосибирска. Предложен актуальный подход, связанный с возможностью применения цифровых образовательных ресурсов в процесс подготовки инженеров-строителей и реставраторов.

Ключевые слова: историческая застройка, цифровые образовательные ресурсы, сохранение

Введение. Деревянные здания в центре Новосибирска – важный элемент культурного наследия. Их сохранение требует подготовки компетентных реставраторов. Для этого предлагается использовать современные цифровые технологии и образовательные ресурсы.

Основная часть. Русское деревянное зодчество имеет древние корни. Мастера строили дома без гвоздей, используя рубку «в чашу», «в лапу», «в ласточкин хвост» [1]. Деревянные постройки начала XX века – основа исторической застройки Новосибирска. Визуальный осмотр зимой 2026 г. показал, что многие дома, вопреки охранному статусу, находятся в плохом состоянии. Многие имеют комбинированную конструкцию: первый этаж каменный, второй – деревянный. Это связано с пожаром 1909 г., уничтожившим 794 деревянных дома [2].

Биологическое поражение древесины в деревянной части строений (гниение, поражение грибком) вызывает особую тревогу. Удручающе выглядят элементы декоративной резьбы на наличниках, карнизах, элементах декора колонн и стен. Это связано с отсутствием своевременной реставрации, а применение неправильных технологий неподготовленными специалистами усугубляет ситуацию. Конечно, не все дома выглядят плачевно и некоторые радуют глаза и поражают своей уникальной красотой прошлой эпохи.

Существует государственная система по охране памятников, регулируется федеральным законодательством (73-ФЗ). Государственная инспекция по охране объектов культурного наследия Новосибирской области осуществляет государственную охрану исторической застройки. Согласно инструкции проводятся плановые проверки с периодичностью раз в пять лет. Чтобы выяснить, почему часть зданий выглядит отреставрированными, а некоторые – плачевно, взято интервью в Государственной инспекции по охране объектов культурного наследия Новосибирской области. Заместитель начальника инспекции ответил, что в ряде случаев срок выполнения предписания о проверке еще не истек, но имеются и другие, «глубинные» причины. Прежде всего, это ответственность и добросовестность граждан – арендаторов исторических домов. Они зачастую не спешат выполнять охранные обязательства, если за этим не следует немедленного наказания. Кроме того, реставрация объекта культурного наследия требует значительных средств, которыми располагают далеко не все владельцы. Отдельную сложность представляет наличие нескольких собственников в многоквартирных домах – договориться о проведении реставрационных работ между множеством владельцев крайне сложно, что приводит к ускоренному разрушению таких объектов. Таким образом, проблематика сохранения деревянного зодчества упирается прежде всего в ответственность и добропорядочность граждан, а также в их финансовые возможности. Полагаем, что срок проверки – раз в пять лет не позволяет своевременно фиксировать и предотвращать необратимые разрушительные процессы, скорость которых значительно превышает периодичность контрольных мероприятий.

Несмотря на описанные сложности, существуют механизмы государственной поддержки. В частности, действует федеральная программа «Культура РФ», в рамках которой можно рассчитывать на выделение бюджетных средств на реставрацию. Правительством РФ в декабре 2025 года утверждена программа, рассчитанная до 2030 года, которая предполагает приведение в удовлетворительное состояние двух тысяч памятников по всей стране. Практика постепенно нарабатывается, и такие механизмы должны помочь в сохранении деревянного наследия города.

Главный недостаток действующей системы – слишком большой разрыв между плановыми проверками. За пять лет деревянный дом, особенно без своевременной консервации, может перейти из категории «требующий ремонта» в категорию «аварийный» с необратимой утратой декора. Решением могло бы стать привлечение волонтеров к ежегодному мониторингу состояния объектов. Волонтерами могут выступать студенты строительных специальностей НГАСУ «Сибстрин», местные жители, неравнодушные к истории города, активисты общественных организаций. Они могли бы ежегодно проводить визуальный осмотр закрепленных за ними объектов, осуществлять фотофиксацию состояния фасадов и декоративных элементов. Это позволит сократить срок выявления проблем с пяти лет до одного года и создать ежегодную базу фотофиксации для отслеживания динамики разрушений.

Предлагаем ввести для собственников обязанность ежегодного предоставления отчета с актуальными фотографиями фасадов и декоративных элементов, кратким описанием проведенных работ и информацией о произошедших утратах. Отчет может подаваться в электронном виде через специальное приложение, что не создаст излишней бюрократической нагрузки, но будет дисциплинировать собственника. Необходимо привлекать частных инвесторов и спонсоров из числа коммерческих компаний. Инвесторам можно предложить размещение информации о компании на информационных табличках у отреставрированного объекта, упоминание в цифровых приложениях и на сайтах, посвященных исторической застройке, создание специальной «доски почета инвесторов» в мобильном приложении или на городском портале, публичную благодарность в СМИ и на мероприятиях. Для небольших объектов или конкретных работ эффективным инструментом может стать краудфандинг – это коллективное сотрудничество людей, которые добровольно объединяют свои деньги или другие ресурсы вместе, как правило, через Интернет, чтобы поддержать усилия других людей или организаций, народный сбор средств через специализированные платформы [3].

Студенты строительных специальностей могут создавать 3D-визуализации отреставрированных объектов, которые используются в краудфандинговых кампаниях для наглядности – это и учебная задача, и реальная помощь. Все предложенные меры могут быть объединены в рамках единой цифровой платформы – мобильного приложения и сайта, посвященных деревянному зодчеству Новосибирска. На этой платформе волонтеры смогут загружать фото домов и вести историю наблюдений, собственники – подавать ежегодные отчеты и получать напоминания о сроках, инвесторы – видеть «доску почета» и информацию о доступных объектах, жители – сообщать о проблемах, жертвовать деньги и узнавать историю домов, студенты – учатся создавать 3D-модели и пополнять цифровой архив декора, а инспекция – получать оперативные данные о состоянии объектов.

Отдельная важная функция – создание базы данных элементов декора: наличников, карнизов, резьбы. Пока уникальные узоры не исчезли окончательно, их необходимо фиксировать с помощью фотограмметрии. Фотограмметрия – это область науки, которая занимается получением точных измерений из фотографических и цифровых снимков. Она играет важную роль в современном мире, позволяя определять форму, размеры и пространственное положение объектов, а также их площадь, объем и различные сечения, что позволит сохранить информацию для будущих реставраций и для изучения [4]. Данная ситуация ставит задачу не только поиска новых подходов к сохранению исторического наследия, но и подготовки квалифицированных специалистов-строителей, способных работать с уникальными деревянными конструкциями и декором. Эффективным

инструментом выступают цифровые образовательные ресурсы: видеоматериалы, фиксирующие состояние деревянной застройки (видеообзор на платформе RuTube [5]), позволяют студенту детально изучать декор и конструкции и формируют навыки визуальной диагностики еще до выхода на объект. Одним из перспективных направлений решения данных проблем выступает использование цифровых образовательных ресурсов (ЦИОР) в процессе подготовки будущих специалистов-строителей. Современные технологии: 3D-сканирование, фотограмметрия, лазерное моделирование, создание цифровых баз данных – открывают широкие возможности.

Заключение. Проведенный анализ состояния деревянной застройки Новосибирска и интервью с заместителем начальника Государственной инспекции по охране объектов культурного наследия Новосибирской области позволяет сделать следующие выводы. Необходимы меры, которые можно объединить в рамках единой цифровой платформы – мобильного приложения и сайта, посвященных деревянному зодчеству Новосибирска. Отдельная важная функция – создание базы данных элементов декора: наличников, карнизов, резьбы.

Данная ситуация ставит задачу не только поиска новых подходов к сохранению исторического наследия, но и подготовки квалифицированных специалистов-строителей, способных работать с уникальными деревянными конструкциями и декором. Только комплексный подход, сочетающий общественные инициативы, экономические стимулы, цифровые инструменты и подготовку специалистов, способен сохранить уникальное деревянное зодчество города для будущих поколений.

Список литературы

1. Русское деревянное Зодчество на Руси //URL: https://drevcenter.ru/articles/760-russkoe-zodchestvo-na-rusi/ (дата обращения : 06.03.2026)

2. Котович Л.В. Под стук колес Новосибирского метро. - : НГПУ, 2022 – 45,-URL: https://54.mchs.gov.ru/glavnoe-upravlenie/professionalnye- prazdniki/yubileynye-daty/125-let-pozharnoy-ohrane-novosibirskoy-oblasti/razrushitelnyy-pozhar-1909-goda (дата обращения : 06.03.2026)

3. Краудфдинг//Википедия: свободная энциклопедия.-URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%80%D0%B0%D1%83%D0%B4%D1%84%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B3 (дата обращения : 06.03.2026)

4. Что такое фотограмметрия ? // Архитектурная фотограмметрия.- 2021. – URL: https://photogrammetria.ru/440-chto-takoe-fotogrammetrija.html (дата обращения : 06.03.2026)

5. А.В.Ополовников. «Русское деревянное зодчество». – Москва: «ИСКУССТВО», 1986

6. Как там было в Новониколаевске (видеозапись) // RuTube: видеохостинг.- URL https://rutube.ru/plst/1465059/ (дата обращения 06.03.2026)

UDC 69.059:72.025+378

DIGITAL EDUCATIONAL RESOURCES IN TEACHING STUDENTS OF CIVIL ENGINEERING UNIVERSITIES IN THE PRESERVATION OF HISTORICAL URBAN DEVELOPMENT

Tarasova A.V.

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, Novosibirsk

Supervisor: Ten M.G. - Senior Lecturer, Department of Historical and Urban Development

Annotation. This article examines the issues of preserving the historical architectural heritage of Novosibirsk. A relevant approach is proposed, focusing on the potential use of digital educational resources in the training of civil engineers and restorers.

Keywords: historical development, digital educational resources, preservation

UDC 004.92:355.237.3

USING VIDEOGAMES FOR MILITARY TRAINING

Antonovich.E. A., Efremov.A.Y.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Berestovsky.A.V. – Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This article examines the potential of using video games for military training. In the context of modern technological development and the transformation of armed conflicts, the integration of innovative approaches is becoming necessary. The paper considers specific methods and techniques for integrating video game technologies into the combat training of soldiers.

Keywords: military training, realistic suppression system, Modern combined-arms combat, military simulators, tactics, game-based training, SQUAD

***Introduction*.** Amidst the evolution of technology and the changing nature of armed conflicts, traditional training methods are being augmented by innovative approaches. One such approach involves the training of soldiers through video games. This paper will examine that concept using the specific video game Squad as case studies, focusing on their realistic depiction of combat operations, tactics, teamwork, and terrain navigation.

Main part. Squad (Picture-1) is a multiplayer tactical military first-person shooter developed by the Canadian studio Offworld Industries. The game was officially released on Steam on September 23, 2020, and is built upon the core principles of teamwork and communication. The developers demonstrate that in modern combined-arms combat, communication, strategy, logistics and supply, leadership, the ability to operate as part of a unit, marksmanship, and navigation are critically important.



Figure 1: Video game

Let us examine the gameplay mechanics utilized in Squad that are pertinent for training purposes.

This involves not only the development of accuracy but also the application of various firing techniques. The game features elements such as firing from behind cover (leaning left and right), from a crouched position, and from a prone supported position. Furthermore, projectile ballistics are simulated, meaning that accurate long-range shooting requires the use of the sight's aiming grid.

In Squad, teams are divided into squads, each led by a Squad Leader. The Squad Leader directs the unit alongside their team, places fortifications, and coordinates their squad's actions with others. Soldiers, in turn, assume roles such as riflemen, medics, drivers, pilots, grenadiers, combat engineers, snipers, machine gunners, and crewmen. The primary roles are as follows:

Medic – A mandatory class in any squad. Medics can revive wounded soldiers and treat critical injuries, preventing player deaths. This class is the most vital element of each squad, determining whether the unit can advance or will be eliminated before achieving its objective.

Rifleman (Infantryman) – The most common role, equipped with an ammunition bag from which allies can resupply.

Grenadier – A fire support class armed with an under-barrel grenade launcher, utilizing fragmentation and smoke rounds for concealment.

Combat Engineer – A class dedicated to reconnaissance, destroying enemy radios, vehicles, and fortifications. They are equipped with mines and tools for digging and constructing defenses.

Sapper – Equipped with remote-detonated explosives, this unique operative can threaten enemy emplacements and vehicles.

Sniper – A precision marksman capable of eliminating enemies with a single shot to the torso, designed to neutralize high-value targets at range.

Unlike linear shooters where tactics often boil down to choosing a corridor for attack, Squad provides teams with a blank slate for tactical creativity. The game's name itself points to the primary condition for victory: cohesive collective action. Squad does not teach tactics; instead, it creates an environment where effective tactics and competent team coordination become the only means to survive and accomplish the mission [1].

The mission execution process begins long before the first shot is fired. When a team receives an order, a «brainstorming» session begins in the voice chat, simulating real-life planning. Squad leaders analyze the terrain using the map, assess approach routes, delegate tasks, and organize logistics. At these moments the importance of each step in operational preparation becomes clear. Once the plan is approved and the Squad Leader issues the order, the group moves out along the designated route. Each member assumes their position and observes their assigned sector. The voice chat is no longer filled with heated discussions – only brief enemy reports and the issuance of orders.

The integrated voice chat system is not merely an option but the primary tool for battle management. Squad features a channel separation critical for situational awareness. Local chat is audible only to nearby soldiers and is used for situational information exchange within the fire team. Squad chat is for the Squad Leader to assign tasks and receive reports from subordinates. Command chat allows squad leaders to coordinate company-level actions, request support, and synchronize attacks. A separate commander channel provides an overhead view via a UAV-like perspective to issue strategic orders. Trainees learn to report information concisely and clearly, understanding that congested communication can cost the unit its life, as a commander might miss a critical report of approaching enemy armor.

Realistic ballistics and a suppression system make combat akin to tactical chess, where a direct frontal assault is deadly. The game allows for marking critical points, suspected enemy positions, and attack objectives on the map. A Squad Leader can devise various tactics, including those based on deception – limited only by imagination and ingenuity. The enemy may spot the maneuver and counterattack, reinforcements may be delayed, or a well-placed mine may destroy enemy vehicles. This dynamic teaches a crucial skill: adaptability. A plan can crumble in the first seconds of contact, and it is precisely then that a unit's true cohesion is tested: the ability to quickly regroup and continue the mission under changed circumstances.

Logistical support is equally important in the game. Players use vehicles to transport ammunition and equipment to the squads. They witness firsthand that without protecting supply lines, an offensive will stall. This instills an understanding of the importance of rear-area support.

Conclusion. There is a vast multitude of military simulators in the form of video games, but not all meet the requirements for military training due to the «casualization» of games for the sake of player enjoyment. Yet, even the best examples have room for improvement and further development [2].

References

1. Steam Community: Guide – Detailed Guide for Beginners [Electronic resource]. – Access mode: https://steamcommunity.com/sharedfiles/filedetails/?id=2494665770

2. Steam Community: Guide – Beginner's Guide to Playing Squad [Electronic resource]. – Access mode: https://steamcommunity.com/sharedfiles/filedetails/?id=3359453634

UDC 004.8-043.86

GENETIC ALGORITHMS: HOW COMPUTERS "EVOLVE"

Astrowski V.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Likhtarovitch I. I. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This article discusses the principles of genetic algorithms and the types of problems they are designed to solve. It describes their operating mechanisms, including selection, crossover and mutation, and analyses their advantages over traditional mathematical methods in solving complex optimisation tasks. A practical implementation of the OneMax problem is presented to illustrate the algorithm's functionality.

Keywords: genetic algorithm, selection, crossover, mutation, genes.

***Introduction*.** In 1859, Charles Darwin published his famous work, "On the Origin of Species", in which he articulated the idea of the change of all life on Earth through natural selection, or rather, evolution. However, since biological evolution is believed to take millions, even hundreds of millions, of years, we cannot visualize its action. However, modern computational methods allow us to simulate certain aspects of evolutionary processes.

In 1954, the Italian mathematician Nils Barricelli created a simulation of evolution on a computer at the Institute for Advanced Study, Princeton University. His work provided a powerful impetus for research on this topic, which ultimately resulted in the development of an evolutionary algorithm called the Genetic Algorithm.

A genetic algorithm is a heuristic search method used to solve optimization and modeling problems by applying principles similar to those of evolution in nature. It is based on the fundamental mechanisms of heredity, variation and natural selection.

Main part. A genetic algorithm operates according to the principles of selection, crossover and mutation. To solve a problem using this approach, an initial population of individuals is generated. Each individual represents a potential solution encoded as a chromosome composed of genes. The initial population is typically created randomly to promote genetic diversity. To evaluate the quality of each individual's solution, we must define a fitness function, often expressed as fitness (individual). This function indicates how close a particular individual is to solving the problem. The evolutionary process can then be simulated.

The selection stage follows: its goal is to retain the fittest individuals in the population, while also maintaining population diversity, since the optimal solution can also be achieved by crossing highly fit individuals with less fit ones.

After selection, the algorithm proceeds to the crossover stage, also known in scientific literature as crossing-over. At this stage, data (genes) are exchanged between the chromosomes (solutions) of the parents selected in the first stage. Specifically, two individuals (parents) are selected and chromosome fragments (a group of genes) are swapped, resulting in a new set of genes in the chromosomes of the offspring. This operation is performed with a certain high, but not 100%, probability. Parent individuals that produce offspring may or may not remain in the next generation depending on the algorithm design. With this crossover mechanism, the population size in each subsequent generation will not differ from the initial size.

The final stage in the evolutionary process is mutation. It is applied to the resulting population and randomly changes the values of individual genes or sets of genes with a small probability. The probability of mutation and its strength – that is, how many genes it will replace – are determined by the designer. Mutation is necessary to maintain population diversity and accelerate the search for the desired solution. Although mutation may sometimes produce less optimal solutions, such individuals are typically eliminated during the subsequent selection phase. However, the mutation probability must be carefully chosen, because if it is too large, this may lead to the loss of beneficial genes and not be fixed in subsequent solutions, which will significantly slow down the process of finding a solution.

With a successful mutation, the individual has every chance of passing through selection and producing offspring, which will consolidate the previously obtained good gene in the population.

To illustrate the algorithm, a simple implementation of the OneMax problem was developed in C++. This problem is conceptually simple and clearly demonstrates the functioning of a genetic algorithm. The OneMax problem: we have a sequence of digits of a certain length, which can consist of zeros and ones. Our goal is to find a solution that maximizes the sum of the digits in this sequence. Obviously, the correct solution to this problem is a sequence where each digit in the sequence is one, but this problem provides an easy way to understand how a genetic algorithm works.

The first step involves defining the fitness function. In this case, it is simply a formula 1

$$\text{fitness} = \sum_{i=0}^{N-1} \text{individ}[i] \qquad (1)$$

for the sum of all elements of a numerical sequence. The larger this sum, the more fit the individual is, i.e., the closer to the solution. Next, we create an initial population of these sequences of a certain length, randomly generated. In this example, the population consists of 50 individuals with a long numerical sequence of 80 elements. In this example, an individual (solution) is a single numerical sequence, a gene is a single element of this sequence (0 or 1), and a chromosome is the set of all genes of a given individual.

The next step is selection. For our problem, we will implement tournament selection. The principle of tournament selection is as follows: first, several individuals (in our case, 4) are randomly selected from the entire population, and then the best one – the fittest – is selected. This process is repeated until the number of potential "parents" matches the size of the original population.

After selection, the crossover process is performed. Pairs of parents are chosen, and fragments of their chromosomes are exchanged to create new offspring (Figure 1). This recombination allows advantageous traits from different parents to combine, increasing the likelihood of improved solutions in the next generation.

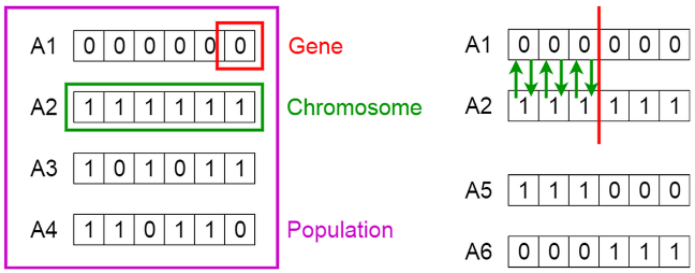


Figure 1 – The crossing principle in the OneMax problem

The final step is mutation. In this study, mutation replaces one gene in an individual's chromosome with a low probability (1%), meaning that a value of 1 may change to 0 or vice versa (Figure 2). This preserves population diversity, which will speed up the solution process.

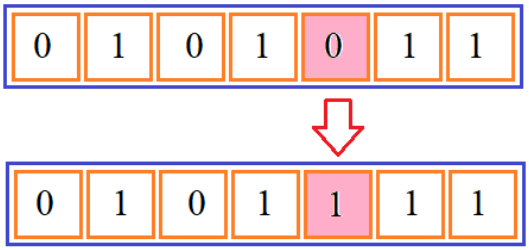


Figure 2 – The mutation principle

The results of the program are shown in Figure 3.

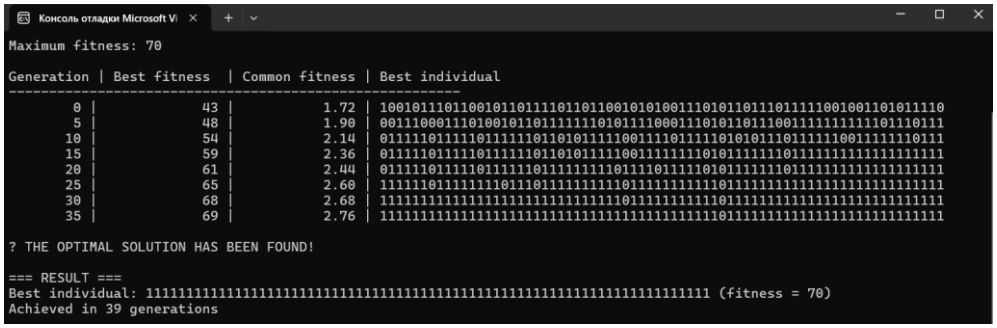


Figure 3 – The program results

All of the above principles were implemented in this program. As we can see, the correct result (the fittest individual) was achieved in 39 generations.

Genetic algorithms are typically used to solve problems that are impossible or very difficult to solve mathematically using formulas and relationships. For example, a genetic algorithm can be used to optimize mathematical functions, create and optimise database structures, create schedules, and even train neural networks.

A well-known real-world example is the use of genetic algorithms in game development. In the 1990s, developers used them to teach virtual creatures how to walk. Each creature had a set of movement parameters encoded as genes, and over many generations the algorithm found combinations that produced efficient and realistic motion. This showed that genetic algorithms can solve problems where the solution is hard to describe in advance but easy to evaluate once found.

***Conclusion*.** This study demonstrates that genetic algorithms represent a powerful optimisation and search tool based on the principles of biological evolution. The analysis and software implementation of the OneMax problem clearly demonstrate how selection, crossover and mutation mechanisms enable consistent improvement of a population of solutions, finding the optimal result even in a vast search space. Thus, evolution, as a fundamental mechanism of biological development, is successfully transferred to the digital environment, opening up broad prospects for solving complex engineering and scientific problems where classical mathematical methods are ineffective.

It is also worth noting that genetic algorithms are not limited to a single implementation strategy. Depending on the nature of the problem, researchers may adapt various parameters such as population size, selection pressure, crossover rate, and mutation probability to achieve better convergence. For instance, in multi-objective optimisation tasks, variants such as NSGA-II (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II) have been developed to simultaneously optimise several competing objectives. These advanced implementations extend the classical genetic algorithm framework and allow it to be applied in fields such as robotics, bioinformatics, logistics, and financial modelling.

One of the key advantages of genetic algorithms over traditional methods is their ability to work without knowing the exact mathematical structure of the problem. A classic optimisation method usually requires derivatives or a clear formula, while a genetic algorithm only needs a way to evaluate how good a solution is. This makes genetic algorithms especially useful in real-world tasks where the problem is too complex or irregular to be described by simple equations. For this reason, they remain a popular and practical tool in modern computer science and engineering. Their continued development and wide adoption across many fields confirm that evolutionary computation is not just a theoretical concept, but a reliable and effective approach to solving the challenges of today.

References

1. Genetic algorithm / Wikipedia., 25.05.2025. – Mode of access : https://en.wikipedia.org/wiki/Genetic_algorithm / Date of access : 25.02.2026.

2. История возникновения генетических алгоритмов [Electronic resource] 26.03.2026. – Mode of access: https://cyberleninka.ru/article/n/istoriya-vozniknoveniya-geneticheskih-algoritmov – Date of access : 25.02.2026.

UDC 004.5

THE INFLUENCE OF COLOR SOLUTIONS ON USER BEHAVIOR AND CHOICE IN THE DIGITAL ENVIRONMENT

Bobr K.D., Yanuts A.P.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Yushkevich E.V. – Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. The article analyzes the influence of color parameters of interfaces on behavioral strategies, emotional background, and users' decision-making mechanisms. The relevance of the study is due to competition for attention and the need for scientifically grounded design. Psychophysiological foundations of perception, visual hierarchy, and contextual variables (culture, accessibility, industry standards) are considered. Myths about universal «conversion» colors are debunked. The importance of a situational approach and empirical testing of hypotheses through A/B testing is justified. Practical recommendations are proposed for optimizing user experience and the effectiveness of digital products.

Keywords: UX/UI design, color perception, user behavior, conversion, digital environment, color psychology, neuromarketing, accessibility of interfaces, A/B testing.

Introduction. The color scheme in design goes beyond the purely visual component, representing a tool for influencing the human psyche and behavior. In a digital space where the user's attention is scattered and overloaded with information noise, a well-designed color palette can become a determining factor in product interaction. It influences the decision-making process, builds the level of trust in the brand and directs the focus of attention.

Color accents not only evoke specific emotional reactions, but also stimulate targeted actions. The key feature of color is the speed of its perception: it is processed by the brain instantly and subconsciously, even before the user begins to comprehend the content. In addition, it is necessary to take into account the technical variability of color reproduction: different display matrices, calibration settings, and color gamut (sRGB, P3) can significantly distort the perception of hue on users' devices.

This requires the designer to set additional design tolerances so that key meanings are not lost when playing on budget or non-standard screens. Despite the recognized importance of the color factor, there is a significant dissonance between established stereotypes and objective scientific data in the professional environment of designers and marketers.

There is a widespread belief in the existence of universal «conversion» shades (for example, warm colors), which supposedly guarantee an increase in performance, while other colors (in particular, blue tones) are considered less effective or reduce activity.

Nevertheless, the results of empirical studies are often contradictory, which indicates the multifactorial nature of the influence of color, depending on the totality of contextual variables, rather than on the properties of the shade itself [3].

Main part. The psychology of color explores the patterns of the effect of color stimuli on emotional state, behavioral reactions and decision-making processes. In the field of user interface design, this area is becoming particularly relevant, since the visual shell of the product acts as the primary channel of communication with the audience.

The perception of the color scheme is variable and depends on many modulating factors: the cultural context, the demographic characteristics of users, and the specifics of the task [5]. For example, the blue color may be associated with reliability in the financial sector, but it may be perceived as excessively cold or detached in the tourism niche, which is determined by the overall tonal decision and goal setting of the resource.

Special attention should be paid to the functional semantics of color, which often prevails over the emotional ones in utilitarian interfaces. Well-established patterns, such as red to indicate errors, green to confirm success, or yellow for warnings, form stable reflexes in users. Violating these conventions for the sake of aesthetics leads to disorientation and increases the risk of making mistakes [1].

The color scheme plays a key role in shaping the initial impression. If the palette is randomly selected – the background, buttons, and icons do not harmonize with each other – the interface can be annoying, confusing, or seem incomplete. The user has to spend more time figuring out where he is and what to do next. This means that there is a growing risk that he will simply close the page and leave [3].

Color psychology is a key tool in interface design, shaping user perception and behavior. By understanding how hues influence emotions and decisions, designers can strategically guide attention, reinforce brand identity, and improve conversions [2]. While individual responses vary, research highlights consistent patterns tied to biology, culture, and context. Here's how primary colors function in digital design:

Red is the color of energy and urgency. It attracts attention and encourages action, which is why it is often used for CTA buttons and promotional offers.

Blue is associated with reliability, calmness and professionalism. The standard choice for corporate websites, banks, and legal services.

Green – symbolizes nature, health and safety. It soothes, reduces anxiety, and is often used in eco-related activities and to confirm actions.

Yellow is the color of optimism and activity. It stimulates attention and mental work, but requires dosed use so as not to cause visual stress.

Orange – combines the energy of red and the positivity of yellow. The orange color is used to create a sense of friendliness and enthusiasm. It is also effective in e-commerce for highlighting important elements.

Purple is associated with creativity, luxury and spirituality. Suitable for brands in the fields of fashion, art and premium services.

Black and white are the base colors for contrast and structure. Black adds elegance and weight, white adds «air», purity and helps to focus on the content.

Nuance: It should be borne in mind that the psychological impact depends not only on the hue, but also on its saturation and brightness. Pastel blue is perceived as soft and friendly, whereas deep navy blue may seem strict and authoritarian.

Neon evokes associations with technology and drive, but it quickly tires.

Therefore, when choosing a color, it is necessary to test different saturation options within the same scale in order to find a balance between emotional message and visual comfort [4].

It is important to remember that the meaning of a color always depends on the context, combinations, and target audience – there are no universal rules.

The first step in building a color scheme is to choose a shade. The most important aspect is the proportional ratio of the color spots, which determines the visual hierarchy of the interface. The «60-30-10» rule is common in the professional environment, adapted to digital products:

1 60% is the primary color. As a rule, a neutral background provides «air» and readability of the content.

2 30% is a secondary color. The brand range used for navigation, headings, and illustrative elements that form recognition.

3 10% is an accent color. The most contrasting shade, reserved exclusively for key interaction elements (CTA buttons, notifications, active states). Violation of this proportion, for example, excessive use of accent color, leads to the effect of «visual noise», reducing the user's ability to prioritize tasks and increasing cognitive load.

The consistency of the color scheme across platforms is also critically important.

The user expects a single visual language when switching from the desktop version to the mobile application. Discrepancies in the shades of buttons or backgrounds between platforms undermine the sense of product integrity and can be perceived as a technical error or negligence.

Modern design standards require accessibility to be considered as an integral part of the color scheme. Statistics show that a significant proportion of users have various forms of color blindness, so relying solely on color as a way to convey information is unacceptable. Key requirements include:

1 Sufficient contrast. The brightness ratio of text and background must comply with WCAG (Web Content Accessibility Guidelines) standards to ensure readability for people with low vision.

2 Signal duplication. Errors in forms, system statuses, or interactive elements should not be indicated only by changing colors. It must be duplicated with icons, text captions, or a change in the shape of the element.

Returning to the question of the effect of color on conversion, it should be emphasized that there is no shade that guarantees success without prior verification. The effectiveness of a particular color scheme depends on a unique set of variables: audience expectations, previous experience with the product, and the overall context of the page.

The statement about the superiority of one color over another (for example, «a red button is better than a green button») is a simplification. Color does not work in isolation, but in a system of surrounding elements.

The only objective way to evaluate the effectiveness of the palette is A/B testing, which allows you to validate hypotheses on real user behavior data [5]. What works for one segment of the audience or niche may not be effective for another, which confirms the thesis of multifactorial perception of color.

When conducting tests, it is important to isolate variables: change only the shade of an element, leaving its size, copywriting, location and environment unchanged. Only this approach allows us to obtain pure data on the effect of color, excluding side factors that could distort the overall conversion statistics [2].

Conclusion. To summarize, it should be stated that the color scheme in digital design is a complex multilevel system where aesthetics are inextricably linked with functionality and psychology of perception. Color is no longer just a decorative element of the product's «packaging», becoming a full-fledged user experience engineering tool. It is able to instantly translate brand values, modulate the user's emotional state and direct their attention to key growth points, but its impact is not linear or universal.

A competent color strategy is based on a careful balance between subjective psychological associations, objective technical accessibility requirements and dry analytical data.

The designer acts as a researcher who must take into account not only visual style trends, but also the physiological characteristics of audience perception, ensuring an inclusive environment for all user groups. Ignoring the principles of contrast or reliance on stereotypical «conversion» colors without prior validation can negate efforts to develop a functional interface.

In an ever-evolving digital landscape, where new types of devices, display modes (for example, a dark theme) and interaction formats are emerging, the role of color will only increase.

However, the true effectiveness of the palette is not revealed in isolation, but in a harmonious combination with usability, content quality and information architecture.

A successful design is one where color works unnoticeably for the user, but precisely achieves business goals, creating an environment that is both convenient, trusting and encouraging to action. Therefore, the key task of a specialist remains not to find the «perfect shade», but to build an integrated system adapted to the specific tasks of the product and human needs [4].

References

1. *The Impact of Graphic Interface Design on User Perception and Behavior [Electronic resource]. – Mode of access: https://apni.ru/article/14279-vliyanie-graficheskogo-dizajna-interfejsov-na-vospriyatie-i-povedenie-polzovatelya. – Date of access: 23.01.2026.*
2. *How Color in Marketing Influences Consumer Behavior [Electronic resource]. – Mode of access: https://companies.rbc.ru/news/gVWftXB5ra/kak-tsvet-v-marketinge-upravlyaet-povedeniem-potrebitelya/. – Date of access: 01.02.2026*
3. *How color schemes affect user perception and the effectiveness of web design [Electronic resource]. – Mode of access: https://kazantsev.kg/portfolio-i-rabota/kak-cvetovye-reshenija-vlijajut-na-polzovatelskoe-vosprijatie-i-jeffektivnost-veb-dizajna/. – Date of access: 09.01.2026*
4. *Color psychology in UX/UI design. Influence on perception and user experience [Electronic resource]. – Mode of access: https://bestwebber.ru/psihologiya-czveta-v-ux-ui-dizajne-vliyanie-na-vospriyatie-i-polzovatelskij-opyt/. – Date of access: 17.01.2026.*
5. *The Psychology of Color in Web Design: How to Control Users' Attention [Electronic resource]. – Mode of access: https://sky.pro/wiki/lifestyle/cvet-v-veb-dizajne-znachenie-i-vliyanie-na-polzovatelya/. – Date of access: 03.01.2026.*

UDC 523.41/.43-047.24

PLANETARY ENGINEERING: THE HUMANITY'S POTENTIAL TO LIVE ON OTHER PLANETS

Bogdanovich K.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Likhtarovitch I. I. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This article examines how rapid advances in space exploration and technological development may influence the future of humanity. It explores missions aimed at space colonization and considers the potential expansion of human activity within the Solar system and beyond. Particular attention is given to the roles of leading space agencies and private aerospace companies, such as NASA and SpaceX, which are currently developing large-scale initiatives in this field.

Keywords. Space engineering, terraforming, Lagrange points, celestial body, ecopoiesis, ISRU

***Introduction*.** For many centuries humanity has been looking at the stars with curiosity, but today this interest has evolved into a pragmatic necessity. The main reasons for space expansion are limits of the Earth itself: global climate change, lack of natural resources and uncontrollable population growth. We are approaching the point, where a single planet might just not be enough for species survival [1]. With that being said, the attention focus drifts from simple space exploration to planetary engineering. If we were only spectators in the past, now we discuss the possibility to directly change environmental conditions on other celestial bodies to make them suitable for living. The goal of this article is to analyse the technological competence, required basis and ethical dilemmas of turning humanity into a multiplanetary species.

Main part. The concept of planetary engineering requires careful examination. Planetary engineering is a complex of theoretical concepts and methods, aimed for intentional full-scale changes of physical, chemical and biological traits and parameters of planets, satellites and other celestial bodies. The main tool of this concept is terraforming – intentional change of atmosphere, temperature and ecology of a planet to fit Earth's standards. For example, for Mars it implies the creation of greenhouse effect for surface heating. However creating atmosphere is just half of the work. It is required to provide special magnetic protection. Without strong magnetic field the solar wind will simply eradicate any created atmosphere, created by humanity. Scientists offer ambitious projects about creating artificial magnetic shields in Lagrange points [2]. The concept of terraforming is demonstrated on Figure 1.



Figure 1 – The concept of terraforming Mars

Such stage is already tedious, as it requires a lot of funds, time, energy and resources to change at least a fraction of an atmosphere. This especially scales with the surface area of a planet: the bigger the planet, the more atmosphere area needs to be changed. But once it is done, a new stage is about to be executed afterwards. Such stage is ecopoiesis – a process of inhabiting plantes with the most

primitive living organisms. Cyanobacteria and lichens should be the first colonisers, who will begin to recycle carbon dioxide into oxygen, preparing soil for more complex life forms.

As mentioned above, carrying all the necessary resources and technological basis is not possible: it's too expensive and inefficient. So the key concept becomes In-Situ Resource Utilisation (ISRU) – usage of local resources, instead of dragging them from our home planet. The humanity should learn how to extract water from Mars's polar waters or Moon and print living modules on 3D-printers, using local regolith – space dust and stones. In order to maintain such activity a colossal infrastructure is necessary: orbital factories, automatised, mines on asteroids for gathering rare metals and, possibly, space elevators, radically reducing the cost of delivering cargo into orbit.

Space exploration is already an interesting topic to discuss and to imagine how everything would turn out in the future. But planetary engineering puts the toughest ethical and moral questions before humanity. Do humans have the right to adjust worlds for our interests? Is humanity ready for such radical change of living space and creating new ones? It begets the conflict of planetary defense: if at least one life collapses on Mars, our intervention might just bring to its total destruction [2]. Supervision is as important question as the previous. Who will become the owner of new territories? Private corporations, such as BlackRock? State coalitions, such as Russia and China? Space monopolies, such as SpaceX? The risk of forming new forms of colonialism or revival of neo-colonialism and neo-nationalist and neo-capitalist ideas, the risk of the emergence of new geopolitical conflicts just for space resources is a threat that needs to be resolved even before the first landing. Moreover, ethical dilemma also can't be ignored: is it worth spending trillions of dollars into Mars colonisation, if we can't handle the problems on our home planet Earth?

Despite such questions that are yet to be answered in the near or far future, we stand on an active preparation stage today. Artemis program from NASA makes the return into Moon and creation of a permanent Moon base, where it will become a training field, a primary goal before jumping straight to Mars [3]. Private initiatives, such as Elon Musk's Starship project, are directed to a reduction in launch cost through increased flight frequency. In long-term perspective a vision of interplanetary civilisation means that a death of a planet won't be an extinction of the entire humanity. It's like building an emergency exit for our culture and knowledge.

Conclusion. Planetary engineering is a project designed for centuries, if not millennia. It appears technologically feasible in the foreseeable future, but ethical and legal difficulties of the process remain as brakes for such opportunity to happen. The main challenges will be not only radiation and absence of oxygen, but also ability to make deals about rules and restrictions in the new world full of technology and exploration.

Dominant space companies, such as SpaceX, Blue Origin, Rocket Lab, United Launch Alliance (ULA) and Arianespace, also tend to fund special mission for space exploration, and the competitions between such companies keep the operations going, analysing further details of space expansion and planet inhabitation. At present, Mars is considered the most viable candidate for large-scale planetary engineering, since other planets like Mercury, Venus and gas giants are either too hot, or do not contain any solid surface, and their satellites are too far away, making transportation costs off the scale.

Humanity has long questioned whether travel beyond Earth is possible. Today, we possess the technological resources to pursue such ambitions; however, significant ethical and moral questions remain unanswered. Nevertheless, leaving the orbit of our home planet Earth is, perhaps, the only way to maintain long-term survival of the mankind and its further development as an interplanetary species.

References

1. Christopher McKay, The Physics, Biology and Ethics of Terraforming [Electronic resource] / ResearchGate., 28.06.2024. – Mode of access: https://researchgate.net/publication/226164287_The_Ethics_of_Terraforming_Mars – Data of access : 02.03.2025.

2. NASA "Moon to Mars" strategy: Exploration and Settlement Infrastructure [Electronic resource] / NASA., 05.04.2023. – Mode of access : https://www.nasa.gov/specials/moon-to-mars-strategy-architecture-definition-document/ / Date of access : 02.03.2025.

3. Robert Zubrin, The Case for Mars: The Plan to Settle the Red Planet and Why We Must. [Electronic resource] / Mars Society., 16.02.2021. – Mode of access : https://www.marssociety.org/about/the-case-for-mars/ – Data of access : 02.03.2025.

UDC 004.8:004.056

AI IN CYBERSECURITY

Danilevich P.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Malikova I.G. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. Artificial Intelligence (AI) is rapidly revolutionizing the field of cybersecurity serving as both a powerful tool of protection against cybercrimes and new possibilities for criminals and scammers. This article is devoted to the impact of artificial intelligence on cybersecurity, examining both defensive innovations and emerging AI-powered threats.

Keywords: Artificial Intelligence (AI), cybersecurity, cyber attacks, machine learning, vulnerabilities.

Introduction. At present, technologies are developing very quickly, and so are cyber threats. Cyber criminals now use sophisticated methods and modern technologies to attack systems, steal or damage data, making traditional security measures less effective. Artificial intelligence offers new solutions to this problem by enhancing the ability to detect and respond to cyber threats. However, the same AI technologies can also be exploited by criminals.

Main part. Before AI, creating a convincing phishing email required good writing skills, cultural knowledge and manual effort. Now, anyone can use AI tools to write perfect fake messages in any language. This has led to a massive increase in attacks. The scale of this transformation is overwhelming. Phishing attacks have increased exponentially following the widespread availability of generative AI tools, with a significant majority of phishing emails now incorporating AI in some form. Figure 1 provides a comparative overview of the key differences between traditional human-only phishing and modern AI-assisted phishing campaigns [1].

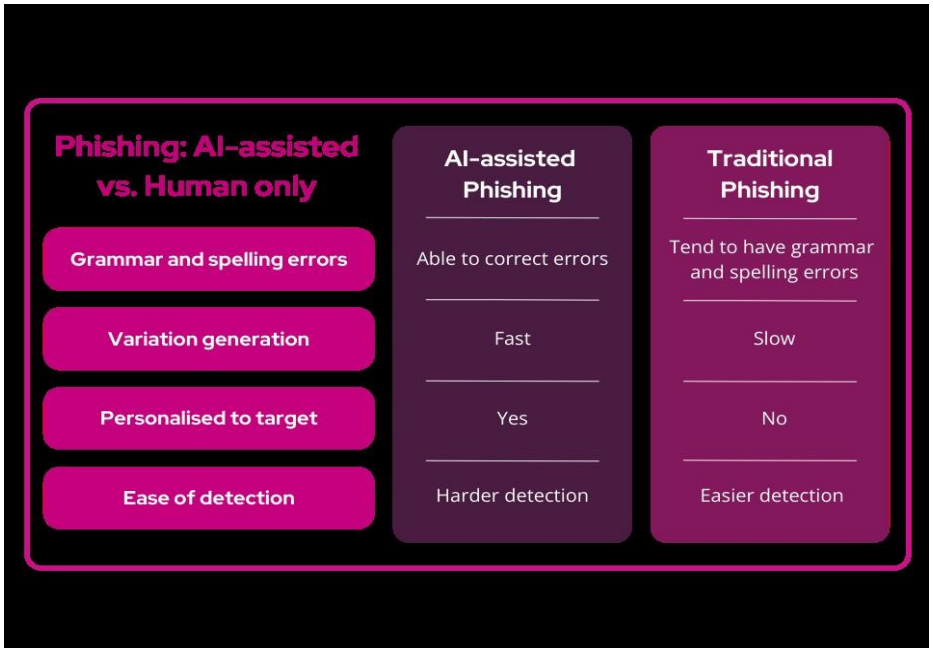


Figure 1 – Comparative Analysis of Traditional vs. AI-Assisted Phishing Attacks

Deepfake technology has introduced entirely new threat vectors that fundamentally challenge traditional authentication methods. Cybercriminals now use Artificial intelligence to create convincing voice replicas and deepfake videos of company leaders. By impersonating executives, they manipulate unsuspecting employees into approving unauthorized wire transfers, disclosing confidential information, or bypassing standard security protocols, resulting in significant financial losses. The FBI's Internet Crime Complaint Center reported a 37% rise in AI-assisted business email compromise schemes during 2025, with hundreds of documented deepfake-based scams [2].

Attackers are increasingly using AI to discover vulnerabilities in target systems. Machine learning models can scan codebases, analyze network configurations, and identify weaknesses at scales impossible for human researchers. These AI-powered tools can autonomously probe for zero-day exploits and prioritize the most prospective attack vectors.

The rapid adoption of generative AI tools in enterprise environments has created new data leak risks. Employees pursuing productivity gains often adopt AI tools without organizational approval or oversight. This phenomenon is called “shadow AI”. When employees input private data, source code, or sensitive documents into public AI models, that information may be exposed to unauthorized persons. The consequences of shadow AI extend beyond immediate data leak. Once confidential information enters public AI models, organizations lose control over that data permanently. It may appear in responses to other users, be incorporated into model updates, or be extracted through adversarial prompting techniques [3].

However, Artificial intelligence is used not only for fraudulent or other illegal purposes. AI helps security teams detect attacks faster. Unlike old systems that could only find known threats, AI can recognize unusual activity even if it’s never been seen before. It learns over time and gets better at telling the difference between real threats and false alarms.

AI is good at analyzing emails to spot phishing attempts. Modern AI systems analyze message tone, content, structure, and metadata to identify sophisticated phishing that bypasses conventional filters.

Sometimes the danger comes from inside the company either from people whose accounts have been hacked. AI learns what “normal” behavior looks like for each user. If someone suddenly starts accessing files at 3 a.m. or logging in from a strange location, AI flags it for investigation.

Companies that use AI for security save money. On average, they save about $1.9 million compared to companies that don’t use AI. One study found that AI detects 98% of threats and reduces response time by 70%. Another study showed AI achieving 99.95% accuracy in detecting intrusions. By minimizing manual effort, AI has helped speed up numerous processes in data security. It enables security teams to quickly identify and classify sensitive information across the entire environment, whether it resides on the company’s local infrastructure or in a cloud application. AI can also instantly detect attempts to move data outside the organization, either blocking the action in real time or flagging it for the security team [4].

Conclusion. The integration of Artificial intelligence into cybersecurity represents one of the most significant transformations in the history of information technology. AI is a double-edged sword in cybersecurity. AI-powered defenses offer improvements in detection accuracy and response speed. Machine learning and deep learning systems can identify novel threats and analyze code for vulnerabilities.

Simultaneously, AI is changing the threat landscape. The same AI tools that help protect companies are also helping attackers. Cybercriminals are now using AI to automate their attacks, make them more convincing, and scale them up in ways that were never possible before. This is the dual-use problem of AI-the fact that the same technology can be used for both good and bad purposes.

This dual-use nature of AI creates an arms race between defenders and criminals. Artificial intelligence is not just another tool in the arsenal, but a powerful force that is fundamentally changing the field of cybersecurity. The main challenge for the near future is to learn how to use it as effectively as possible for defense, while preventing it from turning into a dangerous weapon.

References

1. Sekuro.io. Emerging Threat: AI vs. Human Deceit [Electronic resource]. Mode of access: https://sekuro.io/blog/emerging-threat-ai-vs-human-deceit/. Date of access: 01.03.2026.

2. DeepStrike. AI Cyber Attack Statistics 2025, Trends, Costs, Defense [Electronic resource]. Mode of access: https://deepstrike.io/blog/ai-cyber-attack-statistics-2025/. Date of access: 20.02.2026.

3. Nesktope. Cloud and Threat Report: 2026 [Electronic resource]. Mode of access: https://www.netskope.com/resources/cloud-and-threat-reports/cloud-and-threat-report-2026. Date of access: 03.03.2026.

4. Microsoft. What is AI for cybersecurity? [Electronic resource]. Mode of access: https://www.microsoft.com/en-us/security/business/security-101/what-is-ai-for-cybersecurity#History. Date of access: 20.02.2026.

5. AI and the Future of Cybersecurity [Electronic resource]. Mode of access: https://extension.harvard.edu/blog/ai-and-the-future-of-cybersecurity/#How-AI-Enables-the-Next-Generation-of-Cyber-Attacks-. Date of access: 21.02.2026.

UDC 004.8(083.7)

FUNCTIONING OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TERMS IN MODERN ENGLISH

Dziazhynskaya P.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Perevyshko A.I. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. The main subject of this article is the analysis of AI terminology. The author describes the main ways of term formation. They include abbreviation, eponymy, and metaphorisation. Special attention is paid to the semantic process of determinologisation. The article also analyses the pragmatic functions of AI terms in scientific and media discourse. The author shows that the development of AI terminology influences the vocabulary of modern English. The article presents a classification of AI terms according to their structural models. The historical development of this terminology is linked to prominent scientists in the field.

Keywords: AI terminology, term formation, abbreviation, eponymy, metaphor, determinologisation, discourse analysis.

Introduction. The origins of the term 'artificial intelligence' date back to 1956, when John McCarthy coined it during the Dartmouth Summer Research Project [2]. In his formulation, AI represents the discipline devoted to creating intelligent machines, particularly computer programs capable of intelligent behaviour. Yet the conceptual foundations of AI terminology reach far earlier, drawing on the ideas of philosophers and mathematicians spanning the 13th to 20th centuries. This article aims to reconstruct the evolution of core AI terms and to examine their structural and semantic characteristics as they are used in contemporary English.

Main part. The lexical landscape of AI has been shaped incrementally over centuries, with each era contributing distinctive concepts. In the 13th century, Ramon Llull devised a mechanical method for generating knowledge via logical operations – a precursor to later computational thinking. Gottfried Leibniz, in the 17th century, expanded on these ideas by envisioning a universal symbolic language for reasoning. The word 'robot' entered the lexicon much later, through Karel Capek's 1920 play, drawing on the Czech term for forced labour. These early innovations laid the groundwork for the terminology that would later flourish in the age of digital computing.

Alan Turing fundamentally shaped the conceptual foundation of AI through his 1950 article, which proposed an operational benchmark for machine intelligence – the Turing Test. The operational definition proposed by Turing – a machine's capacity to mimic human conversation – laid the groundwork for decades of research and gave the field one of its most enduring terms [1]. The development of LISP by John McCarthy in 1958 provided AI researchers with a powerful tool for symbolic manipulation, shaping the field's programming practices for a long period. That same year, two pioneering programs – Logic Theorist and General Problem Solver – appeared, showing that machines could prove theorems by manipulating symbols according to the logical rules of Principia Mathematica [1, pp. 3–4]. Concurrently, Norbert Wiener introduced the term «cybernetics» (1948) to describe the common principles governing control and communication in both living organisms and machines – a concept whose terminology later merged with that of AI [1, p. 2].

The glossary material presented in the source allows for the identification of the following models of term formation (Table 1):

Table 1 – Classification of English-language AI terms by structure

Term Type	Formation Model	Examples
Abbreviated Terms	Initial abbreviation	AI, ANN, AGI, ASI, NLP, ML
Eponymous Terms	Named after a scientist/project	Turing test, Logic Theorist, LISP
Metaphorical Terms	Anthropomorphic transfer	Agent, android, behavior, hand, wrist
Compound Terms	N+N, Adj+N	Neural network, natural language processing

Among the structural patterns, abbreviation proves the most frequent. Lengthy expressions such as Artificial General Intelligence are routinely shortened to acronyms like AGI, reflecting the need

for economy in professional communication. Abbreviations fall into two main types: initialisms, spoken as separate letters (AI, NLP, CNN), and acronyms pronounced as words (LISP, GPT, BERT). Clipping – removing parts of words, as in sync or algo – occurs but is less common in formal writing. The predominance of abbreviation highlights the fast-paced, international nature of AI research, where concise terminology facilitates exchange [4].

A pervasive semantic mechanism is metaphorisation – the transfer of human-related vocabulary to machines. For instance, an agent is software acting autonomously on behalf of a user; an android is a robot built to mimic human form; behaviour refers to the actions of an artificial system; and anatomical terms like hand, arm, and wrist label parts of robotic manipulators. This anthropomorphic framing aids intuition but can also obscure differences between human and machine cognition, a point emphasised by recent critiques [3]. Other examples include memory in computers and learning in neural networks, further illustrating how human concepts shape technical terminology.

Determinologisation – the diffusion of specialised terms into everyday language– is evident in several AI-related words. Robot, originally a fictional concept, now refers to both industrial machines and domestic appliances. Cybernetics spawned a family of terms (cyberspace, cybersecurity, cyborg) that are now commonplace. More recently, the rise of generative AI has accelerated this trend: prompt has become familiar to non-specialists, deepfake denotes manipulated media, and to hallucinate now describes AI's tendency to produce false information confidently. Such examples illustrate how technical vocabulary constantly enriches general English.

A further dimension worth examining is the pragmatic role of AI terms. Historical forecasts by leading researchers illustrate how language can shape expectations and guide research agendas. In 1958, Herbert Simon predicted that within a decade computers would prove new mathematical theorems and become world chess champions. A few years later, Marvin Minsky expressed confidence that human-level AI would be achieved within a generation (1967) and subsequently narrowed this estimate to three to eight years (1970) [1]. Such statements not only reflected the optimism of the era but also helped direct funding and public interest.

In contemporary discourse, AI terminology serves several pragmatic functions:

– community identification – specialised jargon (backprop, fine-tuning) marks professional belonging;

– euphemism – the term hallucination downplays the seriousness of machine errors;

– manipulation – Annotation buzzwords like AGI, singularity, and disruption are often used to attract investment and media attention [4].

***Conclusion*.** This analysis reveals that the lexicon of artificial intelligence is remarkably dynamic, shaped by three dominant mechanisms: abbreviation, eponymy, and metaphorisation. These patterns reflect both the need for efficiency in professional communication and the tendency to conceptualise machines in human terms. The historical development of AI terminology is inseparable from the achievements of scientists such as Turing, McCarthy, Minsky, and Wiener, and from landmark projects like Logic Theorist, General Problem Solver, and ELIZA. Moreover, determinologisation demonstrates how specialised terms steadily migrate into everyday English, mirroring the growing presence of AI in daily life.

References

1. Turing, A. Computing Machinery and Intelligence / A. Turing // Mind. – 1950. – Vol. 59, N 236. – P. 433–460 [Electronic resource]. – Mode of access: https://danielwharris.com/teaching/268/readings/Turing.pdf . – Date of access: 02.03.2026.

2. Russell, S. Artificial Intelligence: A Modern Approach / S. Russell, P. Norvig. – 3rd ed. – London : Pearson, 2010. – 1132 p. – ISBN 978-0-13-604259-4 [Electronic resource]. – Mode of access: https://people.engr.tamu.edu/guni/csce625/slides/AI.pdf . – Date of access: 03.03.2026.

3. Inie, N. De-anthropomorphizing «AI»: From wishful mnemonics to accurate nomenclature / N. Inie, P. Zukerman, E.M. Bender // First Monday. – 2026. – Vol. 31, N 2. – P. 1–24 [Electronic resource]. – Mode of access: URL: not specified. – Date of access: 07.03.2026.

4. Massion, F. Terminology in the Age of AI: The Transformation of Terminology Theory and Practice / F. Massion // Journal of Translation Studies. – 2024. – Vol. 4, N 1. – P. 67–94 [Electronic resource]. – Mode of access: URL: not specified. – Date of access: 14.03.2026.

UDC 159.937:004.738.5

THE PSYCHOLOGY OF COLOR ON WEBSITES: A COMPARATIVE ANALYSIS OF BELARUSIAN AND AMERICAN WEBSITES

Dikovitskaya A.O.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Goncharova I.V. – Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. The article is devoted to a comparative analysis of color psychology in the web design of Belarusian and American websites based on a study of statistics and website types. It examines the emotional and cultural associations of colors, their influence on the perception of the interface and user behavior. Age differences in the choice of color schemes in website design are identified. The global trend of design schools moving towards European minimalism is emphasized.

Keywords: Color psychology, web design, color preferences, Belarusian websites, American websites, generational differences, minimalism, emotional impact of color, user experience, cultural associations.

Introduction. Color psychology plays an important role in web design, having a key influence on users' emotional responses, behavior, and perception of the interface. Colors not only convey aesthetics, but also evoke subconscious associations in users, which depend on cultural context, age, and regional traditions. A comparative analysis of Belarusian and American websites reveals how cultural and age differences shape the choice of color systems for different types of websites. For this scientific article, a comparative analysis of 20 Belarusian and 20 American websites from various spheres of life was conducted, ranging from government news portals to food delivery services.

Main part. Colors in digital design affect cognitive load, information processing speed, and the user's emotional state. Warm colors such as red, orange, and yellow stimulate energy, increase heart rate, and encourage action, while cool colors such as blue and green promote relaxation and focus. However, cultural associations add complexity: in Western cultures, red symbolizes passion, urgency, and danger, while in Eastern countries, it symbolizes prosperity. These differences can influence global designs targeting multiple markets. In web design, colors are used to create “color paths” that guide the user.

Various studies highlight differences in preferences: Americans are more likely to choose blue because they associate it with purity and trust, while in Eastern European countries, blue is associated with wisdom and elegance. Generational aspects are also significant: the older generation in Belarus tends to prefer familiar, rich, and multicolored schemes with a busy interface and many accents. In color solutions, they prefer to use several bright and saturated colors, which makes websites difficult to read. Meanwhile, Generation Z already prefers Western minimalist options, where the color scheme consists mainly of three related colors with slight differences in contrast and saturation. This reduces cognitive load, as the brain does not need to process unnecessary color stimuli.

Modern American and European websites are actively implementing dark themes, where black serves as the background for content. In the Belarusian segment, black is more often used as an accent or background color in certain niches, such as clubs or IT studios, but is rarely found on mass news portals.

Belarusian design still follows old traditions, where color is used as a marker and interfaces strive for maximum color saturation. Tourism and government websites also attempt to integrate national colors (green, red, and white) and even imitate ornamental textures in UI elements, creating a unique cultural code but often overloading the interface.

New Belarusian websites often follow European traditions, where red is used for energy (food, technology), blue for reliability (finance, IT), green for eco-themes and the banking sphere, white for purity, and black for prestige and minimalism (Table 1). American websites similarly use red, for example, for the McDonald's brand, but with a greater emphasis on blue as a sign of trust, for example in corporate interfaces. Table 1 presents a comparison of color schemes in Belarusian and American websites in various categories.

Table 1 – Comparative analysis of color solutions

Site category	**Belarus**	**USA**
Government news sites	White, green, red	Black and white
Banking websites	Green	Blue, red, white
Pharmacy websites	Green	Blue and green
Websites of IT companies	Neon, black, white	Black, white, blue
University websites	Blue and green	Red
Food delivery sites	Yellow	Yellow
Travel sites	Orange and blue	Light blue, sand color, green

Modern design schools are shifting towards minimalism, which originated in Europe, with an emphasis on monochrome palettes (black, white, gray) for versatility and readability. Belarusian design is ‘catching up’ with Western design, going through stages that the US went through 3-5 years ago (the transition from colorfulness and clutter to flat design and minimalism). Figure 1 shows the appearance of the Belarusbank website in 2026. The picture shows how websites are moving towards minimalism, but it is still far from American design.

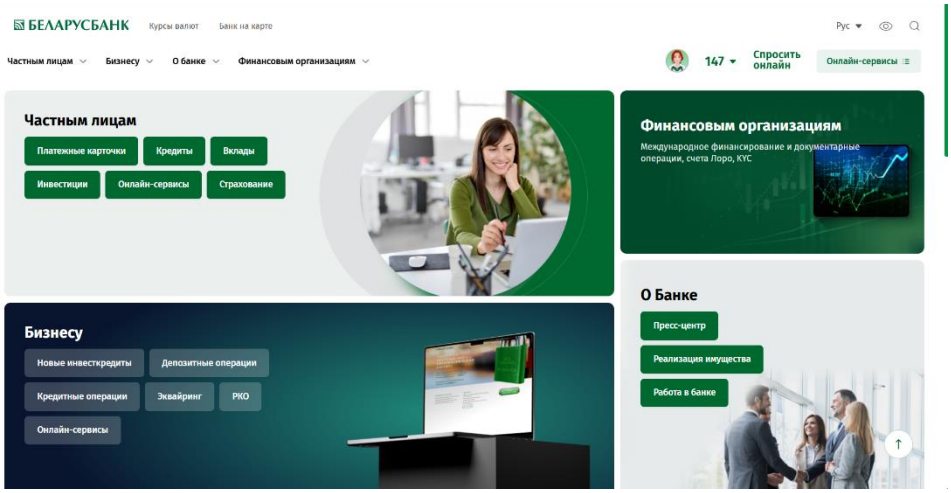


Figure 1 – Belarusbank website design in 2026

The analysis confirms that color psychology in websites evolves under the influence of generations and cultures. This shift is reinforced by global trends. With the growing influence of global platforms such as Instagram, YouTube, and Google, younger generations are beginning to respond to colors in the same way. Cultural differences are gradually being erased in favor of functional patterns.

Conclusion. The psychology of color in web design emphasizes the need for cultural adaptation. Designers are advised to consider generational and cultural factors to create effective interfaces. In a few years, most Belarusian websites will likely switch to more subdued palettes as they adapt to the demands of a young audience, which will become the target audience for many websites over time.

References

1. Психология цвета в цифовом дизайне: [Электронный ресурс]. – Mode of access: https://www.uprock.ru/articles/psihologiya-cveta-v-cifrovom-dizayne. – Date of access: 26.02.2026

2. Психология цвета : [Электроннфый ресурс]. – Mode of access: https://www.uprock.ru/education/psihologiya-cveta – Date of access: 26.02.2026

3. Теория цвета для дизайнеров часть 1. Значение цвета: [Электронный ресурс]. – Mode of access: https://ux-journal.ru/teoriya-tsveta-dlya-dizajnerov-chast-1-znachenie-tsveta.html. – Date of access: 26.02.2026

4. Психология цвета в дизайне: как правильно подобрать цвета: [Электронный ресурс]. – Mode of access: https://bravants.com/ru/blog/psychology-color-design. – Date of access: 26.02.2026

5. Color Psychology in Website Design: 6 Great Examples: [Электронный ресурс]. – Mode of access: https://www.newtarget.com/web-insights-blog/color-psychology-in-website-design. – Date of access: 26.02.2026.

UDC 662.769.21

HYDROGEN FUEL: A WHOLE CYCLE – MINING, APPLICATION AND POTENTIAL RISKS

Gerasimchik E.N., Proturo A.P.

Belarusian State University of Informatics and Radio-electronics, Minsk, the Republic of Belarus

Andreeva O.V. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. The paper highlights the issue of promoting the use of gaseous fuel. The most well-known methods of extraction are listed. A special attention is given to the comparison with other sources of energy, such as fossil fuels and electricity. Finally, possible ideas of advancing hydrogen fuel are described.

Key words: hydrogen fuel, gas fuel, extraction

***Introduction*.** Due to the development of modern technology humanity has faced the problem of finding ecologically safe fuel. It is clear, that oil's reserves will be exhausted in the near future at the current rate of its consumption. The use of gas (hydrogen) fuel may let avoid disasters. The efficiency of using hydrogen is almost the same as the oil's one, but at the same time it is absolutely harmless to the environment.

The aim of the article is to attract the consumers' attention and persuade them of actuality of using hydrogen fuel (HF). In that article the most well-known methods of extraction (EX) of hydrogen are demonstrated. Foremost pros and cons of the gas fuel (GF) are described. And similarly ideas of promoting the GF are suggested.

Main part. Hydrogen – the most spread element in the Universe, about 75% of all substances contain it. It makes its reserves inexhaustible for the humanity. Hydrogen is a colorless gas without any smell or taste. It is extremely volatile and energy-intensive. During the combustion it releases about 120 MJ – three times more, then during the combustion of petrol, and the only product of the reaction is water.

Table 1 –The most popular methods of mining a gas fuel

Method	**Chemical reaction**
Steam conversion of methane	CH4+2H2O = 4H2 + CO2 – 165 kJ
Electrolysis of water	2H2O = 2H2 + O2 – 571 kJ

This method of EX is the most spread due to its efficiency and minimum costs of production. During the reaction CH_4 heats up to 700–1 000 C in the presence of a catalyst and water vapor, forming hydrogen and carbon dioxide (CO_2). The main its disadvantage – carbon dioxide emissions, that increase the pollution of the atmosphere.

It is based on the decomposition of water into hydrogen and oxygen with a use of electrical current. Electrolysis lets gain high purity hydrogen, up to 99.99%, and it is not accompanied by emissions of CO_2, if renewable energy sources are used. [1] Electrolysis is environmentally friendly: it doesn't produce harmful emissions. The only disadvantage is high costs, because it requires immerse a huge amount of energy. Despite that, technologies are developing rapidly, and this way is expected to be one of the most perspective directions.

Comparison with other types of fuel**.** To become widely spread, fuel should be:

– cheap,
– reliable,
– efficient
– and safe.

The idea of HF usage was very appealing to the science fiction writer Jules Verne, that he described in his novel "The Mysterious Island" (1875). Characters were discussing diverse energy sources, when the main hero Cyrus Harding made a guess: in future people will learn to gain energy from the water. It was stated: "Water is the coal of the future." Although water itself is not an energy

source, hydrogen can serve as an efficient energy carrier. Notably, one kilogram of hydrogen provides 2.7 times more energy than a kilogram of gasoline. [2]

The eventual end of the oil era is inevitable, as its reserves are finite. Furthermore, its combustion releases hydrocarbons, contributing to the greenhouse effect, and it offers lower overall efficiency compared to alternatives.

Another widely adopted fuel is electricity. As a renewable energy source, its demand is visibly increasing. Electric vehicles represent a monumental breakthrough in the automotive industry. However, the main challenge lies in developing batteries that are safe for disposal and recycling. From this perspective, hydrogen vehicles appear superior: they offer a greater driving range and require fewer raw materials for production. This raises the question: why hasn't hydrogen transportation gained similar popularity?

The reasons are numerous.

Firstly, there is the cost of production. Economically viable and safe technologies for producing affordable hydrogen are not yet widespread.

Secondly, storage poses a significant challenge. As a gas stored under immense pressure, it requires extremely robust and heavy cylinders, leading to high material costs.

Thirdly, hydrogen-air mixtures are highly flammable, with a wide range of concentrations that can lead to ignition or explosion, raising serious safety concerns. [3]

Finally, public awareness is low. Many people are simply unaware of hydrogen as a fuel option. Acquiring a hydrogen cylinder is far more complicated than charging a battery or filling a tank with gasoline.

After reviewing all the advantages and disadvantages, it's clear that HF is not currently a front-runner in the consumer automotive market. However, it plays a critical role in the space industry due to its unique properties. This lightweight and powerful gas is used as rocket fuel to launch spacecraft and satellites into Earth’s orbit and beyond. [4]

Despite current limitations, it is only a matter of time before hydrogen transport becomes a priority. The following ideas could help popularize the use of this gaseous fuel.

1 State-Level Initiatives:

– introducing tax breaks and trade-in subsidies for replacing old vehicles with new hydrogen-powered models;

– organizing the use of hydrogen-powered vehicles in low-emission «green zones»;

– funding the construction of a network of hydrogen refueling stations along federal highways, placing them every 100–150 kilometers.

2 Consumer-Level Solutions:

Combining solar panel systems with home electrolyzers to produce hydrogen. This would enable individuals to use hydrogen not only for home heating but also for refueling their personal vehicles.

***Conclusion*.** All in all, hydrogen technology is a promising field for future development. Although it currently lacks the widespread popularity of fossil fuels or electricity, its distinct advantages are undeniable. Despite the present low consumer market demand, GF has already secured a vital role as a specialized fuel for satellites and rockets.

References

1. “How Hydrogen is Produced Industrially: Methods, Technologies, and Raw Materials” [Online]. Available at: https://www.provita.ru/articles/kak-poluchayut-vodorod-v-promyshlennosti-metody-tekhnologii-i-syre/?ysclid=mlno6ih56h310616613.

2. Rakov, E. G. “Will Hydrogen and Nanomaterials Replace Oil?” [Online]. Available at: https://him.1sept.ru/article.php?ID=200600901.

3. Kolomiets, P.V. Fuel. Tolyatti: TSU Publishing House, 2011. p. 24.

4. “Hydrogen in the Space Industry: Rocket Fuel and the Exploration of Outer Space” [Online]. Available at: https://vodorod.hermes-gas.ru/blog/vodorod-v-kosmicheskoj-promyshlennosti?ysclid=mlwhdtc5a0626840636.

UDC 005.322-043.86

SOFT SKILLS AS A COMPETITIVE ADVANTAGE FOR TECH SPECIALISTS IN THE ERA OF AI

Goncharko S.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Andreeva O.V. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This paper examines the role of soft skills in the modern workplace and their impact on the career advancement of technical specialists. It analyzes the influence of artificial intelligence on automation of various processes. Particular attention is paid to teamwork, flexibility, responsibility, and communication as key factors for career advancement and increased labor market demand. The balance between the development of leadership and communication skills and the pace of professional promotion is also discussed.

Keywords: soft skills, AI, automation, employability, labor market, career development, professional promotion.

***Introduction*.** In recent years, due to the development of neural networks the demands of the labor market has been rapidly changing. Previously, deep technical knowledge, or hard skills, was exclusively the key factor of success in engineering and information technology (IT) careers. Nowadays, artificial intelligence (AI) is increasingly capable of handling complex computations and data analysis. As processes are automated, soft skills, skills defining interpersonal relationships, begin to play a much greater role.

The relevance of this topic is driven by the rapid integration of AI into all areas of human activity, which requires highly qualified specialists able to develop emotional intelligence, communication abilities, and critical thinking. This paper identifies key skills and examines their important role in career growth. The results of this study will help to determine the directions for professional development in the context of digital transformation.

Main part. The development of AI has a significant impact on the structure of professional activity in technical and engineering fields. The introduction of AI does not lead to the complete replacement of specialists, but rather to a change in the functions that they perform [1]. Routine tasks can be defined as repetitive, algorithmically controlled actions requiring minimal creativity and little or no interpersonal cooperation. Operations such as code testing, process analysis, finding errors in code, and data analysis are easily automated using algorithms. This explains why demand for hard skills is declining, while the value of skills that focus on interaction with other people continues to rise. Consequently, skills that do not require creative and social collaboration among specialists no longer hold the same level of significance as they once did.

As neural networks can process vast amounts of information faster than humans, identify patterns, and offer optimal solutions with high speed and accuracy, companies can avoid hiring a large number of employees to perform these tasks. Instead, specialists capable of performing tasks related to interpersonal communication, activity coordination, and strategic decision-making are valued much more highly [1].

Owing to the transformation of professional roles, skills that cannot be fully algorithmized are gaining much greater importance. These skills include:

– time management;
– ability to work in a team;
– flexibility;
– critical thinking;
– leadership;
– responsibility.

It should be emphasized that in the modern labor market, specialists who possess mental flexibility and develop social skills are in increased demand [2]. It is more beneficial for an employer to view an employee not only as a performer of technical tasks, but also as a participant in an entire collective dedicated to developing innovative technologies.

Teamwork is becoming an integral part of the information technology and engineering spheres. Successful execution of complex projects necessitates close collaboration among developers, analysts, designers, marketers, managers and clients. Taking in to account the fact given above, the importance of soft skills is particularly amplified, as communication barriers will lead to errors and financial losses [2]. It is also essential to note that the use of AI helps to facilitate the work of team significantly.

Flexibility acquires special value. Technological tools and platforms updated at a high rate, specialists to be ready for non-stop learning are required. Professions most susceptible to the influence of AI need regular updating of skills and mastering new digital tools [1]. The ability to adapt quickly to changes becomes an important factor for professional activity.

According to data published by HR Dive in 2024, employees possessing a high level of communication and leadership skills receive promotions faster than specialists focused exclusively on technical skills [3]. Advancement to leadership positions involves making decisions under conditions of uncertainty, managing a team, and being responsible for the work results of all team members. Figure 1 demonstrates a generalized diagram of the impact of automation on the structure of professional skills.

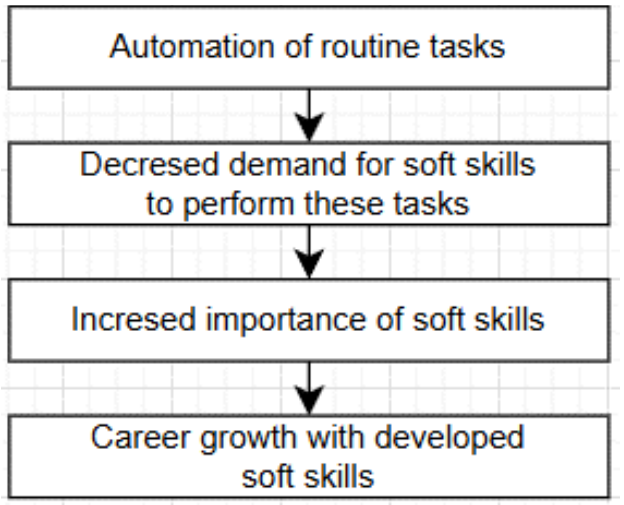


Figure 1 – Transformation of competency requirements in the context of AI implementation

According to this diagram, the importance of management and soft skills increases as the importance of people's ability to perform repetitive tasks declines. Developed soft skills become a main factor in career growth in an automated environment.

***Conclusion*.** Research shows that developing soft skills is critically important for tech specialists. The combination of technical expertise and strong interpersonal abilities creates a competitive advantage for tech specialists that cannot be replaced. As AI continues to evolve, professionals who invest in these human qualities will remain valuable and resilient in the changing labor market. By embracing soft skills development, professionals can secure their place in the era of AI and open new opportunities for professional growth.

Sustainable professional success depends on the balanced development of both hard and soft skills. Automation may transform the nature of work, but human interaction and responsible decision-making remain fundamental while making a brilliant career.

References

1. OECD Employment Outlook 2023: Artificial Intelligence and the Labour Market / OECD [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.oecd.org/employment-outlook/2023/. – Дата доступа: 27.02.2026.

2. Polakova M. Soft skills and their importance in the labour market / M. Polakova et al. – 2023 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37593611/. – Дата доступа: 27.02.2026.

3. Soft skills lead to faster promotions / HR Dive [Электронный ресурс]. – 2024. – Режим доступа: https://www.hrdive.com/news/soft-skills-lead-to-faster-promotions-linkedin/709292/. – Дата доступа: 28.02.2026.

UDC 004.8:502.17

THE IMPACT OF AI ON THE ENVIRONMENT

Guranchik F.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Malikova I. G. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. Artificial Intelligence (AI) transforms environmental sustainability, serving as both a catalyst for resource optimization and a major driver of ecological strain through intensive energy and material demands. This work examines AI's environmental footprint, analyzing emissions from data centers and hardware alongside water consumption. The study highlights critical challenges and pathways toward sustainable AI deployment.

Keywords: Artificial Intelligence (AI), environment, carbon footprint, water usage.

Introduction. Artificial intelligence (AI) currently has significant negative impacts on the environment through rising energy demand, greenhouse gas emissions, water consumption, material use, and e-waste. Studies emphasize that understanding these impacts across the full life cycle of AI systems is essential in order to limit ecological damage and align AI with climate and resource-protection goals. As AI becomes more deeply embedded in economic and social systems, concerns are growing about its potential environmental consequences, especially in the context of already escalating sustainability challenges and transgressed planetary boundaries.

Main part. Modern AI workloads are concentrated in large warehouse-scale data centers that have become extremely energy-efficient at the level of individual facilities, but this total electricity demand is nonetheless growing rapidly. One study notes that global data center electricity use increased by about 6% between 2010 and 2018 even though the number of compute instances grew by 550%, and the International Energy Agency (IEA) projects data center electricity demand to rise from 460 TWh in 2022 to more than 1,000 TWh by 2026. Between 2017 and 2021, the electricity consumption of Google, Meta and Microsoft more than doubled or tripled, with AI identified as the most important driver of this growth [1]. The life-cycle assessment of a 3.6 MW AI data center points out that such facilities are essential for training and running models like ChatGPT, but their operation leads to significant energy consumption and associated CO_2 emissions. The Greenpeace report adds that newly built, AI-oriented "hyperscale" data centers can have connection capacities of several hundred megawatts and occupy areas of up to four square kilometers. Estimates cited there suggest that, excluding cryptocurrencies, the share of AI-specific hardware in data center electricity use could increase from 14% in 2023 to 47% by 2030 [2]. For example, one referenced analysis reports that training the GPT-3 language model resulted in around 552 tons of CO_2-equivalent emissions on a relatively carbon-intensive grid [3].

Several sources stress that focusing only on operational energy consumption overlooks a major part of AI's environmental impact, namely embodied emissions from hardware manufacturing and data center construction. One study characterizes AI's total carbon footprint as the sum of emissions from manufacturing infrastructures and hardware (embodied carbon) and emissions from training and using models (operational carbon). For a multilingual language model examined there, the ratio of operational to embodied carbon is roughly 2:1, and embodied emissions add about 50% on top of the operational emissions over the model's life cycle [4]. The Meta sustainability data cited in the same paper show that, between 2019 and 2022, the share of data center construction and hardware manufacturing in Meta's Scope 3 greenhouse gas emissions rose from 41% to over 60%, and similar patterns are observed for other large cloud providers. The life-cycle assessment of an AI data center architecture finds that, over a 20-year period, about 70% of total CO_2 emissions are associated with manufacturing (including IT hardware, cooling, power and building infrastructure), while around 29% come from the use phase. This study also shows that electricity mix has a strong influence on operational emissions: operating the same AI data center in France rather than Germany can reduce total CO_2 emissions by a factor of about 3.7, mainly because of France's lower-carbon electricity system.

While most environmental studies have focused on energy and CO_2, the systematic review identifies significant but understudied impacts of AI on water, material use, pollution and

biodiversity. Summarizing existing evidence, it reports that training a single large language model can use more than five million liters of freshwater, and that inference can require on the order of 500 milliliters of water for every 10–50 user responses, depending on cooling technology and location. Data centers themselves are described as energy- and water-intensive infrastructures that are often built on carbon-intensive grids or in regions facing water stress [2].

The same review notes that semiconductor fabrication for AI-critical chips consumes millions of liters of ultrapure water per day and generates hazardous waste. Mining for key materials such as lithium, cobalt and rare earth elements leads to water depletion, pollution and biodiversity loss in affected regions, and these upstream impacts are rarely captured in narrow energy-only assessments. The authors highlight that embodied emissions from hardware and infrastructure may account for roughly 30–50% of the life-cycle carbon footprint of AI, and they argue that water, material, land use, non-carbon pollutants and biodiversity impacts should be systematically integrated into environmental assessments of AI [2].

The Greenpeace-commissioned report provides additional quantitative indications of water and resource use. It states that global data center water consumption was around 175 billion liters in 2023 and could rise to 664 billion liters by 2030, more than tripling in seven years, with particular risks in regions suffering from water scarcity.

The same source estimates that the expansion of data centers and AI capacity could generate up to five million tons of additional electronic waste by 2030, amplifying issues around e-waste management and toxic pollution.

Efficiency gains in AI are triggering the rebound effect: efficiency improves, yet aggregate electricity use continues to grow. AI-driven efficiency gains in other sectors may induce sectoral rebound. AI-driven personalization and advertising may intensify consumption. Lower costs may increase demand for AI services, while efficiency savings are often reinvested in more computationally-intensive models or hardware.

Where AI is used to improve efficiency in sectors such as transport, logistics, or manufacturing, similar rebound effects may occur in these sectors.

Technological advances alone will not eliminate the environmental impacts caused by technology. Efficiency improvements lower costs, leading to increased AI usage that negates savings – this is known as the rebound effect or Jevons Paradox. Across the reviewed literature, 31% of systemic impact studies explicitly address rebound dynamics, while 40% examine impacts arising from AI-led shifts in consumer behavior. Such effects often reinforce environmental burdens rather than reduce them [2].

***Conclusion*.** Escalating computing requirements are driving increasing energy use and CO_2 emissions. Inference emissions may exceed training emissions at deployment scale. Embodied emissions from hardware and infrastructure may account for approximately 30–50% of the life-cycle carbon footprint.

Training a single LLM can use over 5 million litres of freshwater, while inference can require approximately 500 ml for each 10–50 responses.

Data centers are energy– and water-intensive and are often sited on carbon-intensive grids or in water-stressed regions. Mining for AI-critical materials such as lithium, cobalt, and rare earths causes water depletion, pollution, and biodiversity loss. AI accelerates hardware turnover, contributing to global e-waste. Evaluating AI's overall impact requires accounting for computing-related, application-level, and systemic impacts, while integrating both environmental and social dimensions.

References

1. Carole-Jean. Wu Beyond Efficiency: Scaling AI Sustainably [Electronic resource]. Mode of access: https://arxiv.org/abs/2406.05303. Date of access: 10.03.2026.

2. Noemi Luna Carmeno. The impacts of artificial intelligence on environmental sustainability and human well-being [Electronic resource]. Mode of access https://arxiv.org/abs/2602.24091. Date of access: 12.03.2026.

3. Öko-Institut Consult GmbH. Umweltauswirkungen Künstlicher Intelligenz [Electronic resource]. Mode of access https://www.greenpeace.de/ueber-uns/loesungen-finden/kuenstliche-intelligenz-energieverbrauch-und-umweltauswirkungen. Date of access: 02.03.2026.

4. Alexandre d'ORGEVAL. Carbon Footprint of AI Data Centers: A Life Cycle Approach [Electronic resource]. Mode of access https://www.energy-proceedings.org/wp-content/uploads/icae2024/1728494991.pdf. Date of access: 05.03.2026.

UDC 57.087.1-027.45

HOW RELIABLE ARE MODERN BIOMETRIC SYSTEMS?

Gurskaya A. S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Likhtarovitch I. I. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This paper examines the reliability of contemporary biometric authentication systems by analysing performance indicators, error rates and security vulnerabilities. It highlights the balance between user convenience and strengthened access control, as well as the technical and ethical challenges of deployment. Fingerprint, facial and iris recognition are representative modalities illustrating the growing role of biometrics in digital security systems.

Keywords. biometric authentication, system reliability, false acceptance rate (FAR), false rejection rate (FRR), multimodal verification, data protection, vulnerability assessment.

***Introduction*.** The conceptual foundations of identification through inherent human traits extend back to the late nineteenth century, when fingerprint classification systems were first adopted for forensic purposes in criminal investigations. However, the digital transformation of biometric technologies accelerated markedly in the early 2000s, driven by exponential growth in computational capabilities, the emergence of high-resolution optical and capacitive sensors, and refinements in pattern-recognition algorithms [1]. A pivotal paradigm shift occurred around 2020, when artificial intelligence and deep learning architectures began enhancing feature extraction, liveness detection, and adaptive decision-making processes in real-time authentication scenarios. Convolutional neural networks now enable systems to detect subtle texture variations beyond visual perception, significantly reducing susceptibility to high-quality forgeries. This evolution allows algorithms to adapt to gradual changes in a user's biometric characteristics over time, maintaining accuracy without requiring frequent re-enrollment. Such adaptive learning ensures that the system remains resilient against natural aging processes while preserving the speed of verification [2]. Contemporary implementations now achieve near-human-level precision under controlled environmental conditions, with some commercial systems reporting accuracy rates exceeding 99.8% for fingerprint and iris modalities [3]. Consequently, biometrics has emerged as a disruptive force, reshaping conventional security models by enabling seamless, individualised verification experiences that transcend traditional knowledge– or possession-based credentials [1].

Main part. A primary strength of biometric systems lies in their capacity for robust identity confirmation. Unlike conventional password-based approaches or physical tokens, physiological and behavioural traits are inherently bound to the individual – they cannot be misplaced, forgotten, or casually transferred among users. Advanced algorithms process distinctive markers, such as ridge endings and bifurcations in fingerprints, geometric facial landmarks, or the complex vascular patterns of the iris, to authenticate individuals within milliseconds [3]. This functionality resembles a personalised, always-available security protocol, often surpassing traditional methods in both operational speed and user experience.

Modern biometric solutions are increasingly embedded in consumer electronics and enterprise environments. For instance:

1 Windows Hello leverages infrared facial mapping combined with liveness detection to enable passwordless device access.

2 Mobile banking applications employ AI-driven behavioural analysis to authorise transactions while detecting spoofing attempts.

3 Automated border control systems integrate e-passport data with real-time facial comparison to accelerate passenger processing without compromising security thresholds [1].

These implementations illustrate how biometrics streamlines routine verification tasks while maintaining adaptive, context-aware security policies. Organisations further utilise such frameworks for workforce management – automating attendance logs, restricting physical access to sensitive

infrastructure, and generating tamper-resistant audit records. The outcome is enhanced operational efficiency, reduced administrative overhead, and scalable security architecture capable of supporting thousands of simultaneous authentications.

From an end-user standpoint, biometric authentication offers tangible benefits: unlocking a smartphone via fingerprint sensor, approving a contactless payment with facial recognition, or accessing cloud-based services without memorising complex credential combinations (Figure 1). Personal experience confirms that enabling facial recognition on a personal device significantly reduces login friction while maintaining a strong security posture. Nevertheless, this convenience necessitates mindful usage practices. Biometric templates, once compromised through data breaches or insecure storage protocols, cannot be “reset” in the manner of traditional passwords – making transparent data-handling policies and robust encryption essential for long-term trust. Furthermore, the permanence of biometrical identifiers necessitates a higher standard of care compared to traditional credentials. Unlike a compromised password that can be changed instantly, a leaked biometric template remains a permanent vulnerability. Consequently, users should prioritize systems that employ template protection schemes, such as hashing or encryption, ensuring that raw biometric data is never stored in a reversible format. This approach mitigates the risk of identity theft even in the event of a server-side breach [4].

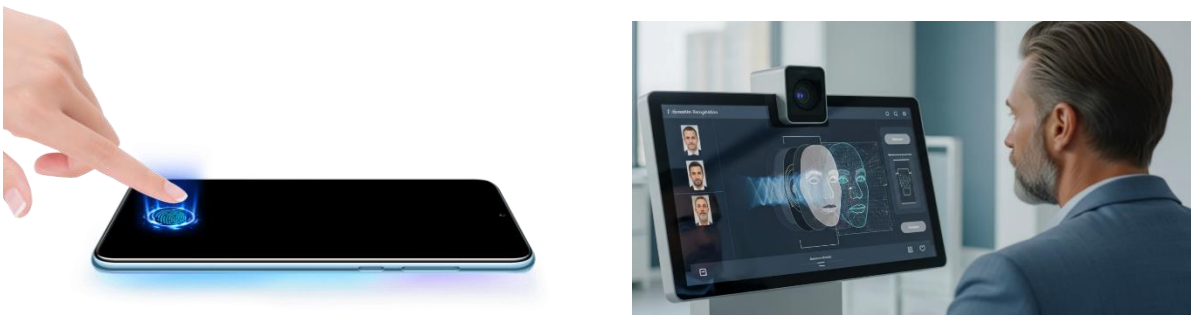


Figure 1 – Biometric authentication interfaces in consumer electronics: capacitive fingerprint sensor, infrared facial recognition camera, and near-infrared iris scanner

Contemporary users frequently incorporate such tools into daily digital routines. The appeal lies not merely in time savings, but in the capacity to maintain consistent security across multiple devices and services without cognitive overload. However, widespread adoption also raises important questions regarding dependency, privacy preservation, and the irreversible nature of biological data exposure.

Despite remarkable technological progress, biometric systems remain probabilistic rather than deterministic in their operation. Three categories of operational errors warrant sustained user awareness:

1 False Acceptance Rate (FAR): the statistical probability that an unauthorised individual is incorrectly granted system access – a critical metric for high-security applications.

2 False Rejection Rate (FRR): the likelihood that a legitimate user is erroneously denied entry, potentially causing frustration or operational delays.

3 Contextual Sensitivity: performance degradation attributable to environmental variables (e.g., low illumination, sensor contamination) or physiological changes (e.g., minor injuries, aging effects, temporary alterations in appearance).

FAR and FRR exibit an inverse relationship: lowering one inevitably raises the other. Administrators must therefore calibrate thresholds based on context – prioritising low FAR for high-security environments and low FRR for consumer-facing applications to balance protection with usability.

Two interrelated challenges merit particular attention in deployment planning:

1 Single-point dependency risk: Users may disable supplementary security layers (e.g., PIN codes, hardware tokens) when biometrics feels “sufficient”, inadvertently weakening overall protection through reduced defence-in-depth.

2 Data sovereignty and privacy: Biometric templates represent highly sensitive personal information. Inadequate encryption standards, centralised storage architectures, or unauthorised secondary usage can erode user trust and expose individuals to identity-related threats with potentially irreversible consequences [4].

To harness biometric technologies effectively while minimising associated risks, both individual users and institutional stakeholders should consider the following practices:

1 Implement multifactor authentication frameworks, combining biometric verification with a knowledge-based factor (e.g., PIN) or possession-based token to create layered security.

2 Verify data storage and processing protocols – prefer on-device template storage over cloud-based solutions where feasible, and ensure compliance with relevant data protection regulations.

3 Explore multimodal biometric systems that fuse multiple independent traits (e.g., face + voice + behavioural dynamics) to improve overall accuracy, resilience against spoofing, and accessibility for diverse user populations. For instance, combining facial recognition with voice analysis creates a higher barrier for attackers, as replicating multiple biological traits simultaneously is considerably more difficult than spoofing a single modality. This fusion also ensures continuity if one sensor fails or is obstructed, thereby enhancing overall system robustness. Such redundancy is particularly valuable in critical infrastructure where uninterrupted access verification is paramount [1].

4 Advocate for privacy-by-design principles during system procurement, development, and deployment phases, ensuring transparency, user consent, and algorithmic accountability [4].

Beyond core security applications, biometric technologies show expanding promise in healthcare monitoring (e.g., continuous patient verification), accessibility enhancements (e.g., hands-free control interfaces for users with motor impairments), and personalised user experiences – provided that ethical guidelines and human-centred design principles govern their implementation.

***Conclusion*.** Biometric authentication represents a significant advancement in digital security infrastructure, delivering enhanced convenience and strong identity assurance when properly configured and responsibly managed. However, its reliability remains context-dependent and not absolute: environmental conditions, sensor quality, algorithmic sophistication, and implementation practices all influence real-world performance.

Maximising benefits while mitigating risks requires a balanced, informed strategy: users must understand core error metrics, scrutinise data protection measures, and avoid treating biometrics as a standalone solution. The principal advantage – eliminating password fatigue and accelerating secure access – must be weighed against potential drawbacks, including environmental sensitivity, spoofing vulnerabilities, and the irreversible nature of biological data exposure.

As a guiding principle, biometric verification should function as a complementary layer within a comprehensive defence-in-depth security framework, not as a replacement for holistic protection protocols. Only through such cautious, ethically grounded adoption can individuals and organisations fully leverage biometric innovation while preserving control over personal information and maintaining long-term digital trust [2][4].

References

1. NIST. Face Recognition Vendor Test (FRVT) – Performance Metrics. [Electronic resource] / National Institute of Standards and Technology., 10.01.2025. – Mode of access: https://www.nist.gov/programs-projects/face-recognition-vendor-test-frvt – Date of access: 22.02.2026.

2. History of biometric technology. [Electronic resource] / Wikipedia., 15.04.2025. – Mode of access: https://en.wikipedia.org/wiki/Biometrics – Date of access: 22.02.2026.

3. Jain, A. K., Nandakumar, K., & Ross, A. Biometric template security: challenges and solutions. [Electronic resource] / IEEE Computer Society., 2024. – Mode of access: https://www.computer.org/csdl/magazine/co – Date of access: 22.02.2026.

4. European Union Agency for Cybersecurity (ENISA). Biometric authentication: security and privacy considerations. [Electronic resource]., 2024. – Mode of access: https://www.enisa.europa.eu/publications/biometric-authentication – Date of access: 22.02.2026.

UDC 004.43:378(476-25)

COMPARATIVE ANALYSIS OF PROGRAMMING LANGUAGES STUDIED AT BSUIR AND THEIR COMPLIANCE WITH MODERN REQUIREMENTS OF THE IT MARKET

Holod I.V., Zhukovskaya P.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Lasarenko A.M. – Senior Lecturer at the Department of Foreing Languages

Annotation. The gap between what universities teach and what IT employers actually need is the central concern of this paper. Using BSUIR as a case study, the authors examine official faculty syllabi to determine which programming languages are covered and how relevant each remains in 2025. Graduate preparedness is then assessed in the context of industry shifts driven by artificial intelligence and high-performance systems. Popularity indices (TIOBE, PYPL, IEEE Spectrum 2024–2025) and job-listing data from Belarusian recruitment platforms provide the empirical basis for a scored comparison between the academic programme and current employer expectations.

Key words: IT education; BSUIR; technology stack; IT labour market 2025; programming languages; industrial development; curriculum alignment.

***Introduction*.** The accelerating pace of technological change has placed universities in an uncomfortable position: curricula that take years to revise must somehow remain meaningful in a field where dominant tools can shift within months. At BSUIR, this challenge has traditionally been addressed by building the programme on a foundation of classical computer-science theory while progressively supplementing it with courses tied to real-world software production.

The Stack Overflow Developer Survey 2024 confirms that hiring teams prefer candidates with hands-on command of tools already running in production. By the time a new technology enters a university syllabus, it may already be widely adopted in the workplace, creating a measurable lag between academic programmes and industry practice [1].

Rather than a general critique of IT education, this study delivers a granular, data-supported audit of specific programming languages: which ones are taught, how popular they are in the current job market, and where the syllabus has fallen behind what employers now require.

The core aim is to produce a structured comparison between the language content of BSUIR's programme and the technology preferences documented in employer hiring data, thereby determining how well-positioned graduates are when they enter the labour market.

Three tasks support this aim: a content audit of language-related modules across the key BSUIR faculties; a cross-tabulation of the resulting academic technology stack with leading industry ranking systems; and the identification of curriculum gaps accompanied by specific remediation proposals.

The authors proceed from the hypothesis that BSUIR's foundational language instruction is adequate, but that the programme has not kept pace with the employer-driven surge in demand for TypeScript, Rust, and cloud-native infrastructure skills, creating a gap that lengthens graduates' time-to-productivity after hiring.

Main part. Three evidence streams are combined: (a) official BSUIR teaching documentation, (b) numerical data from job-listing portals and international language ranking indices, and (c) a criterion-weighted scoring model applied to each language in the curriculum.

Primary data were drawn from the following sources:

– official syllabi for the BSUIR degree programmes «Software Engineering» and «Artificial Intelligence», academic year 2024–2025;

– three widely cited language-popularity measurement systems: TIOBE Index, PYPL Index, and the IEEE Spectrum Top Languages ranking (2024–2025 editions);

– job-posting datasets extracted from the dominant IT recruitment platforms operating in Belarus and neighbouring CIS countries (dev.by, rabota.by, hh.by);

– the Stack Overflow Developer Survey 2024, specifically its sections on languages that respondents most value, most avoid, and most wish to learn.

Analytical framework. Each language present in the BSUIR curriculum was assigned a conformity coefficient C, calculated according to the formula:

$$C(lang) = w_1 \cdot P(lang) + w_2 \cdot V(lang) + w_3 \cdot T(lang), \quad (1)$$

where P(lang) – normalised composite popularity score derived from TIOBE and PYPL; V(lang) – share of regional job postings that list the language as a requirement; T(lang) – directional trend indicator (upward growth = 1, flat = 0.5, declining = 0); w_1, w_2, w_3 – weights set empirically at 0.35, 0.40, and 0.25 respectively.

Languages were then grouped into three tiers: High Market Fit ($C > 0.7$), Partial Market Fit ($0.4 \leq C \leq 0.7$), and Low Market Fit ($C < 0.4$).

Results: Architecture of the Educational Stack. Foundational tier – C/C++. The university's choice to keep C and C++ as first-year anchors stands up to scrutiny against 2025 market data. C++ currently occupies position 10 in TIOBE, yet the metric understates its renewed relevance: both Edge Computing expansion and growing demand to optimise LLM inference pipelines are driving fresh uptake of manually managed, low-overhead C++ code in performance-sensitive systems.

C++ also carries pedagogical value: hardware architecture, pointer arithmetic, and complexity analysis in one sequence– competencies transferable across all specialisations. For embedded or systems-level roles: $C(C++) \approx 0.78$ (High Market Fit).

Industrial standard – Java and C#. Java and C# (.NET) enter from the second year, oriented toward large-scale enterprise development.

In fintech and enterprise backend engineering, Java retains unquestioned dominance. Senior-year Spring Framework coursework closes most of the gap between academic training and production requirements, translating into an estimated 85–90 % readiness for a Junior+ Java role. Regional job boards confirm its standing: 31 % of all back-end vacancies reference Java explicitly [2]. Score: $C(Java) \approx 0.82$ (High Market Fit).

BSUIR's Unity and enterprise .NET tradition ensures C# graduates are employable in game studios and Azure projects. $C(C\#) \approx 0.71$ (High Market Fit, lower boundary).

Future vector – Python. On the FCSN and FITC faculties, Python is the designated language for Big Data coursework and neural-network programming. This positioning mirrors the broader industry consensus: Python holds the top spot in both TIOBE and PYPL for 2024–2025 and commands the machine learning, data science, and automation segments with no serious rival in sight.

$C(Python) \approx 0.91$– highest in the BSUIR stack. Advanced modules covering NumPy, Pandas, and TensorFlow give graduates a production-ready toolkit for data-intensive roles.

Table 1 shows scores and market indicators for each language.

Table 1 – Market conformity scores for programming languages in the BSUIR curriculum (2025)

Language	**TIOBE Rank (2025)**	**Regional Vacancies**	**Trend**	**C(lang)**	**Tier**
C / C++	1 / 10	18 %	↑	0.78	High
Java	4	31 %	→	0.82	High
C#	7	22 %	→	0.71	High
Python	1 (PYPL)	39 %	↑	0.91	High
JavaScript	7	27 %	→	0.68	Moderate
SQL	–	45 %	→	0.75	High
Rust	13	5 %	↑↑	0.44	Moderate*
TypeScript	–	21 %	↑	0.38	Low*

* – included in the BSUIR curriculum as optional or introductory-level electives only.

Discussion: Critical Analysis and Blind Spots. While the programme's foundations are strong, three specific areas emerge from the data as systematic under-investments that slow graduate onboarding in the fastest-growing segments of the IT market.

Frontend and TypeScript deficit. TypeScript– the statically typed superset of JavaScript now dominant in large-scale frontend and full-stack codebases– has been relegated to optional modules or brief mentions within broader web courses– a peripheral position that contradicts market realities.

Employer data shows the language appearing in 21 % of regional vacancies and ranking fifth globally by active usage in the Stack Overflow 2024 survey [3].

The resulting score, C(TypeScript) ≈ 0.38, places it in the Low Market Fit category and marks the widest single gap between BSUIR's curriculum and current employer expectations.

Senior-level IT roles now routinely demand fluency in cloud platforms and container orchestration.

A survey of Belarusian vacancy postings shows that AWS, Google Cloud, or Azure combined with Docker, Kubernetes, and Terraform pipelines appear as requirements in 34 % of senior developer listings [2].

BSUIR's core curriculum makes no provision for any of these tools in mandatory subjects; interested students must seek them out in optional workshops, a situation that leaves cloud and DevOps aspirants significantly underprepared relative to market expectations.

Rust has topped the Stack Overflow most-admired language list for nine consecutive years through 2024, with growing adoption in Linux kernel modules and cloud-infrastructure components [4].

Since BSUIR already teaches C/C++ extensively, introducing a mandatory Rust module in third or fourth year would require minimal additional preparation while noticeably strengthening graduates' competitiveness in systems engineering roles.

***Conclusion*.** BSUIR's core language offering aligns well with current IT labour market demands. Graduates leave with a T-shaped profile: deep expertise in Java or C++ combined with working knowledge of Python, SQL, and JavaScript [5].

Taken together, the findings confirm the initial hypothesis.

Core language instruction is solid, but three specific gaps– TypeScript, Rust, and cloud-native tooling– hold the mean conformity coefficient down to $\overline{C} \approx 0.68$, a score that places the full curriculum at the top of the Partial Market Fit zone, just short of the threshold for a High Market Fit rating.

Four actions are recommended: (1) upgrade TypeScript to a required subject in web and full-stack tracks; (2) embed a Rust module as a mandatory component of systems-programming specialisations; (3) introduce a core Cloud Computing course covering AWS or Azure fundamentals and Docker/Kubernetes; (4) establish a standing industry advisory channel so curriculum updates are triggered by labour-market shifts rather than administrative schedules.

The methodology applied here is transferable to other technical universities in Belarus and the CIS region seeking to audit their own curricula.

References

1. Stack Overflow. Developer Survey 2024. [Electronic resource]. – Mode of access: https://survey.stackoverflow.co/2024. – Date of access: 21.02.2026.

2. Dev.by Analytics. IT Vacancy Market in Belarus 2024–2025. – Minsk, 2025, pp.10-25.

3. TIOBE Software. TIOBE Programming Community Index. [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.tiobe.com/tiobe-index. – Date of access: 21.02.2026.

4. IEEE Spectrum. Top Programming Languages 2024. [Electronic resource]. – Mode of access: https://spectrum.ieee.org/top-programming-languages. – Date of access: 21.02.2026.

5. Ivanov I.I. Methods of Teaching Object-Oriented Programming Languages in Technical Universities. – Minsk: BSUIR, 2023, pp.45-70.

UDC 004.8:[37.016:81`243]

GENERATIVE AI (DEEPSEEK) IN LEARNING FOREIGN LANGUAGES AT A UNIVERSITY: OPPORTUNITIES AND LIMITATIONS

Jalilova L.R.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus

Perevyshko A.I. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. The main subject of this text is the application of generative AI in language learning. At the beginning of the text the author describes the evolution of neural language models. Special attention is given to the advantages and limitations of using this model in studying foreign languages. It is pointed out the potential of the DeepSeek platform in language learning context.

Keywords: neural network, artificial intelligence, personalized learning, digital technologies, foreign language, DeepSeek, chatbot.

Introduction. The evolution of digital technologies within foreign language pedagogy has progressed from the basic algorithmic systems of the 1980s to the current era of Large Language Models (LLMs).

While this integration has a long-standing history, the COVID-19 pandemic served as a critical catalyst, forcing an immediate transition to remote formats and necessitating the rapid development of new digital tools. A definitive shift in the public and academic perception of artificial intelligence occurred in late 2022 with the emergence of ChatGPT.

Moving beyond specialized academic interest, neural networks have integrated into everyday activities, fundamentally modernizing traditional teaching methods [1].

This article examines the didactic potential of the DeepSeek chatbot, evaluating its operational strengths and identifying specific limitations within the language learning process.

Main part. DeepSeek is a large language model with an open-source codebase, developed by the eponymous Chinese company [2].

The chatbot also enables the creation of diverse didactic materials: exercises, tests, reading texts, and sample dialogues. A user can request the generation of a test with a specific number of questions, followed by answer checking and error analysis. DeepSeek not only generates tasks but also provides detailed comments on correct answers, enhancing the learning effect.

A significant advantage of language learning with a neural network is its ability to adapt generated content to the user's language competence level and their professional or personal interests [3]. In contrast to static textbooks, the neural network allows for the creation of learning materials relevant to the student's specific field.

One of the most valuable functions is the opportunity to practice written language through dialogue. The neural network simulates the linguistic behavior of a native speaker, which can prove helpful for overcoming the language barrier: the network is impartial and does not judge errors, which can help reduce anxiety during conversation in a foreign language [3].

The neural network also assists in answering questions requiring comparative analysis of word meanings; it can list their areas of application and instances where using a word might be inappropriate. Moreover, one can ask DeepSeek an unlimited number of clarifying questions.

When translation of a text is required, DeepSeek also offers the possibility of explaining the translation choices made, justifying the selection of specific words or phrases. This contributes to the development of translation competence and a deeper understanding of the differences between languages.

Last, but not least, for language learning with a chatbot, users only need a device with internet access. This eliminates the need for expensive textbooks, tutoring sessions, or specialized software, making language practice accessible to a much wider audience regardless of their geographical location or financial resources.

However, one of the key drawbacks of DeepSeek for language learning at its current stage of development is the lack of support for voice input and output. This significantly limits its didactic potential for developing pronunciation skills, building listening comprehension, and practicing

spontaneous oral speech. For language learning, the ability for voice communication is critically important, as it allows training not only the lexical and grammatical aspects but also the phonetic dimension of speech.

Furthermore, like all large language models, DeepSeek can produce inaccurate or completely erroneous answers, especially when addressing highly specialized topics. This phenomenon, known as AI «hallucinations» requires the user to adopt a critical attitude towards the information received and the ability to verify it. Therefore, it is essential to treat the model's outputs as a starting point for further research rather than as definitive sources of truth.

Not only that, but during prolonged interaction, the model may lose track of certain parameters previously set by the user as learning boundaries. For example, if an instruction is given at the start of a dialogue to generate tasks strictly with three answer options, after several iterations the neural network may «forget» this condition and revert to its default generation format. Similar failures are observed in maintaining a specified difficulty level, text style, or output length. This limitation requires the user to constantly monitor adherence to the set parameters and periodically reiterate them in prompts.

Additionally, the neural network possesses no consciousness, empathy, or cultural experience in the human sense. Communication with such an interlocutor is merely interaction with a model reflecting a generalized perception of the linguistic worldview [3]. Traditional intercultural communication involves encountering a representative of a different culture, which entails an element of misunderstanding and conflict necessary for the genuine development of communicative competence.

An important limitation concerns linguistic diversity. Although other languages were not excluded from the training data during the model's development, its corpus predominantly consists of English and Chinese content. This means that when using other, rarer languages, the error rate increases, the quality of responses declines, and grammatical and stylistic accuracy suffer. Users note that when working with languages other than English and Chinese, the neural network may suddenly switch to English or Chinese during a dialogue and demonstrate a less profound understanding of complex phrases and stylistic nuances.

Chatbots also lack nuance when it comes to interpretation of words and phrases, whereas a human can play with the language, bending the initial meaning into something completely different. Humans intuitively navigate ambiguity, recognize when words are used ironically or figuratively, and can even invent new meanings on the spot. This ability to manipulate meaning is fundamental to authentic communication and cannot be replicated by pattern-matching algorithms [1]. Ultimately, this reveals that true linguistic creativity and playful ambiguity remain deeply human.

***Conclusion*.** The conducted analysis allows us propose that the DeepSeek neural network represents a fairly effective tool for modernizing the process of foreign language learning [1]. Its functional capabilities create conditions for individualized and accessible language practice [3]. Yet it is not a substitute for human-led instruction. Its current limitations – ranging from the lack of audio support to linguistic biases – suggest that its optimal role is as a supplementary resource for independent practice and overcoming initial communicative barriers. As AI continues to evolve, the integration of such models must be balanced with the development of student critical competencies to ensure the accuracy and cultural depth of the learning experience.

References

1. Kostyunina, S.A. Rol' iskusstvennogo intellekta v izuchenii inostrannykh yazykov [The role of artificial intelligence in foreign language learning] [Electronic resource]. – Mode of access: https://cyberleninka.ru/article/n/rol-iskusstvennogo-intellekta-v-izuchenii-inostrannyh-yazykov – Date of access: 06.03.2026.

2. DeepSeek [Official website] [Electronic resource]. – Mode of access: https://deepseekcom.ru/ – Date of access: 02.03.2026.

3. Kondrakhina, N.G., Petrova, O.N. Ispol'zovaniye vozmozhnostey iskusstvennogo intellekta dlya prepodavaniya inostrannykh yazykov: novaya real'nost' [Using the capabilities of artificial intelligence for teaching foreign languages: a new reality] [Electronic resource]. – Mode of access: https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-vozmozhnostey-iskusstvennogo-intellekta-dlya-prepodavaniya-inostrannyh-yazykov-novaya-realnost– Date of access: 06.03.2026.

UDC 004.8:004.056.53

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN CYBERSECURITY

Kaplunova A. A. Lobatskaya E. S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Perevyshko A. I. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This article provides a general overview of the use of artificial intelligence in cybersecurity. AI can have different applications in the field of security. In the future, new technologies created using artificial intelligence will be described, which are likely to have an impact on the development of cybersecurity systems.

Keywords. cybersecurity, artificial intelligence, machine learning, RNN, CNN, data protection, advantages.

***Introduction*.** Artificial intelligence is used in many areas of life. Thanks to the introduction of machine learning in AI, it can be configured to search for ideas offline, organize company data, and constantly check for threats and viruses in huge databases, thereby ensuring round-the-clock data protection. The development of AI has made it possible to develop voice assistants that recognize face and fingerprint scanners, as well as systems to prevent fraud on the Internet. Thanks to this, the development of cybersecurity and the design of new AI-based security systems are now coming to the fore in the world of modern technology.

Artificial intelligence in cybersecurity uses self-learning algorithms that aim to identify and analyze behavioral patterns to detect threats and respond to them in real time. AI can automate repetitive tasks by detecting viruses, malware, and spyware in large amounts of data, thereby making security systems even more active.

Main part. Many types of artificial intelligence are used in cybersecurity, but Convolutional Neural Networks (CNNs) and Recurrent Neural Networks (RNNs) are considered the most common. Initially, CNN was created for image analysis, but later better applications were found in data analysis systems. CNNs use a method called convolution, which involves applying multiple filters to the input data to identify specific features or patterns. This process allows you to thoroughly examine the input data, recognizing signs of malicious data and file behavior. They are also good at detecting phishing pages, as a web page can be converted into an image, and CNN can quickly determine whether this page is real or not. The strength of these networks is the parallel processing of large amounts of data, which allows you to quickly transfer information and react to a detected threat.

Recurrent neural networks (RNNs) are designed to process sequential data where the order of the elements matters. RNNs have an “internal memory” that allows them to store the previous elements of the sequence when processing the current element, which allows them to work well with large texts and data series. They can identify similar behaviors and trends in databases, helping to detect anomalies and third-party intrusion. CNN's ability to process consistent data allows them to recognize long-term dependencies, contributing to early detection of cyber attacks and proactive threat removal [1].

The most common use of AI is to detect of network attacks, including DDoS (distributed denial of service). The systems check basic network characteristics such as the structure of IP addresses, packet numbers and counts, session duration, and frequency of access server failures. If the number of similar requests from different locations increases dramatically on the same server, the system mistakes this behavior for a DDoS attack and sends a warning. AI models don't just compare network performance; they study the past data about the network and users, the time and how long the work was performed with the data. This reduces the number of false alarms and makes threat detection more accurate.

The second key use of artificial intelligence in cybersecurity is the detection of malicious software. AI models analyze file structure, document loading and closing behavior, and network

activity. If the security system notices deviations in the program's behavior, such as changing system files, creating hidden directories and processes, or connecting to unverified sources, the model classifies it as viral and malicious. Similarly, AI detects phishing emails: the model analyzes the text of the message, verifies the authenticity of links and visual elements. If hidden links to a domain with an abnormal structure and characteristic fraudulent patterns are detected, the system automatically blocks such messages and emails [2].

The integration of artificial intelligence (AI) technologies into cybersecurity systems represents a significant advancement in the protection of digital infrastructures. Traditional cybersecurity approaches were primarily based on signature-based detection methods, where incoming data was compared with a database of previously identified threats. If a match was detected, the system generated an alert and initiated appropriate countermeasures. However, due to the rapid evolution of information technologies and the constant emergence of new types of cyber threats, this method has become less effective. The main advantages of using AI are:

1 One of the primary advantages of AI in cybersecurity is its proactive capability. Unlike conventional systems that react only to known threats, AI-based solutions can analyze patterns of behavior and detect anomalies that may indicate previously unknown attacks. Machine learning algorithms are capable of processing extremely large volumes of data within a short period of time, identifying hidden correlations and unusual activities, such as abnormal login attempts or deviations from typical user behavior.AI-Driven Virtual Production, AI is used to automate and improve game development, in areas such as animation, character management, visualisation and rendering.

2 Another important benefit is improved vulnerability management. AI systems can continuously monitor networks and analyze large datasets to detect irregularities that may signal potential weaknesses. This significantly reduces the time between the appearance of a threat and its detection, thereby minimizing the exposure window and lowering overall risk.

3 AI expands the scope of cybersecurity coverage. Advanced algorithms are capable of handling multiple processes simultaneously, which enhances network visibility and improves the identification of hidden threats. The use of machine learning and deep learning models increases the accuracy of threat detection compared to traditional rule-based systems [3].

The integration of artificial intelligence into cybersecurity represents a fundamental transformation in the approach to digital protection. AI not only enhances traditional security mechanisms but also introduces proactive, adaptive, and predictive capabilities that are essential in the modern threat landscape.

Conclusion. AI systems are able to detect new and previously unknown threats, analyze vast volumes of structured and unstructured data, and generate actionable threat intelligence in real time. The ability of AI to identify emerging malware, distinguish between legitimate and malicious automated traffic.

The automation of routine processes and large-scale data analysis increases efficiency, reduces response time to incidents, and lowers overall operational costs. The scalability of AI-powered solutions enables organizations of different sizes to expand their cybersecurity capabilities without proportional increases in human or technical resources

Artificial intelligence serves as a cornerstone of modern cybersecurity architecture, combining predictive analytics, automated defense mechanisms, advanced anomaly detection, and continuous learning to provide comprehensive and forward-looking protection against contemporary and future cyber threats.

References

1. Cybok: The Cyber Security Body Of Knowledge [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.cybok.org/ataglance/. – Date of access: 21.03.2025.

2. Cybersecurity First Principles: A Reboot of Strategy and Tactics [Electronic resource]. – Mode of access: https://taek.edu.kg/wp-content/uploads/2025/02/Kiberbezopasnost_glavnue_princupu.pdf. – Date of access: 21.03.2025.

3. Security engineering: A Guide to Building Dependable Distributed Systems [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.cl.cam.ac.uk/archive/rja14/Papers/SEv3.pdf. – Date of access: 21.03.2025.

UDC 341.31-047.44

WWII VISION IN SOME ENGLISH-SPEAKING COUNTRIES

Khursan I.R.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Berestovsky A.V. – Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This research work analyzes documents describing the historical events of two countries from opposing political camps (the Republic of Belarus and the USA). It examines possible reasons for disagreements and tensions in the world and explores how the perception of history depends on the use of different documentation and textbooks.

Keywords: politics, World War II, history, education, vision, English language, English-speaking countries.

Introduction. Humanity, more than ever, needs mutual understanding and com-promise. Armed conflicts are erupting all over the world. As we know from history, any war brings human casualties. This must be avoided.

To resolve any conflict, it is very important to understand the context of the situation. To do this, one needs to know the opinions of both sides. In politics, context can be described as the vision of history from one's own perspective.

In this study, I compared the views on a single event– World War II and its consequences– from countries of different political camps: the Republic of Belarus and the USA. The USA was chosen as a representative of English-speaking countries, and the Re-public of Belarus as the country closest in culture and ideology to me (since I live here).

Of course, books are not the most frequently used or popular source of information these days. However, the internet is full of misinformation and conflicting opinions, and users are already aware of this. As a result, many people trust official sources because they consider them reliable. Competent politicians also use them to maintain their reputations.

What feels familiar to a person is usually what they have been taught since child-hood and what is popular in society. Since almost everyone goes to school, it seems obvious that most people will accept the information from their textbooks as the truth. That is why we are using the school curriculum as a representation of the commonly accepted viewpoint.

Main part. I will compare two historical documents: History of Belarus in the Context of World History (Ministry of Education of the Republic of Belarus) and Outline of U.S. History (Bureau of International Information Programs, U.S. Department of State). The Belarusian textbook is considered the standard and is used in all schools in Belarus as a mandatory part of the curriculum. The U.S. Outline is based on a wide range of academic and research papers, and American textbooks also draw a lot of information from it. Politicians also use this work as an official representation of the U.S. perspective.

The Beginning of the War. The Belarusian textbook describes the USSR as unprepared for the German invasion, emphasizing the chaos and inability to mobilize in the western regions. For example, it states: «Due to the rapid advance of German troops, it was not possible to carry out mobilization in the western regions of the BSSR.» [2]

In contrast, the U.S. Outline portrays America as already mobilized and industrially ready, highlighting its massive wartime production. While Belarusians tend to view the war as a national tragedy, Americans see it as a heroic struggle against evil.

This difference is very clearly reflected in the cultures of both nations.

When facing threats similar to World War II, from one point of view, the goal is to prevent battles from happening again by maintaining a strong defense. From the other point of view, the goal is to destroy the threat as quickly and dramatically as possible, demonstrating power to the entire world.

Main Actions of the War. The Belarusian narrative focuses on the Eastern Front and the sacrifices of the Soviet peoples. The U.S. Outline, however, emphasizes the Pacific theater and battles in Western Europe, presenting the United States as a decisive force without whom victory would not

have been possible. The Soviet Union is mentioned only briefly, without acknowledgment of its critical role.

This also creates a different context. One country sees itself as a victim fighting for its freedom, while the other sees itself as a victorious hunter of evil. In the second case, a potential conflict seems less frightening; it could even be seen as beneficial if it brings re-sources, glory, and shows the world who is in charge and who should be feared.

Results and Treaties of the War. The Yalta agreements are seen in the Belarusian textbook as a necessary compromise that shaped the post-war order. The U.S. Outline, however, portrays the USSR in a negative light, accusing it of expansionism. It describes Soviet actions in Eastern Europe as aggressive and undemocratic.

For instance, the Outline mentions the agreements: «In February 1945, the three Al-lied leaders met again at Yalta… In return, the USSR would gain effective control of Manchuria and receive the Japanese Kurile Islands as well as the southern half of Sakhalin Is-land.» [1] However, it also frames Soviet ideology negatively: «The Soviet Communist Party under V.I. Lenin considered itself the spearhead of an international movement that would replace the existing political orders in the West, and indeed throughout the world» [1]

The U.S. Outline also emphasizes America's economic gains and strategic positioning during the war. It mentions the Lend-Lease Program as a tool for supporting allies while simultaneously strengthening U.S. influence.

The document reflects a confident, triumphalist American perspective, ready to lead the post-war world. A key example of this strategic thinking is the statement: «The United States gave the British Navy 50 'overage' destroyers in return for British air and naval bases in Newfoundland and the North Atlan-tic.» [1]

Even after peace treaties are signed, countries draw different conclusions. The USA sees itself as a nation with a duty to spread democracy around the world.

The Outline also mentions that the USA initially preferred an isolationist policy and did not want to inter-fere in other countries' politics, but it was President Roosevelt's speeches and Japan's aggression that led the public to support full-scale military operations abroad. The Soviet Union, in contrast, is portrayed as an evil force, similar to the Nazis, seeking global domination.

The USSR, on the other hand, viewed the treaties as quite successful and its own policies as peaceful. It saw the USA's further actions as aimed solely at expanding its in-fluence, controlling the world, increasing its profits, and satisfying its ambitions.

Two powers both claim to be fighting for world peace, justice, and the equality of all races and peoples, yet they see each other as absolute evil.

Conclusion. By studying historical documents, we can see that countries pursue different goals and have different views of their past.

This is what leads to misunderstanding and conflict. Studying history without bias, recognizing the achievements and merits of other countries, accepting the mistakes of the past, and taking responsibility for wrongdoings will help humanity avoid unnecessary victims and suffering and live in a kind, mutually understanding, and prosperous world.

In this situation, each side sees only a desire for world domination in the other's worldview. At the same time, they justify their own actions as spreading the «right» ideas.

Perhaps we are just one step away from a bright and peaceful future. But I am left wondering: when will we finally take it?

Don't be like that! Respect other people's personal boundaries and respect others' opinions.

References

1. Hamby, A. L. Outline of U.S. History / Alonzo L. Hamby; Bureau of International Information Programs, U.S. Department of State. – Washington, D.C.: U.S. Department of State, 2011. – 376 pp.

2. History of Belarus in the context of world history / Ministry of Education of the Republic of Belarus; ed. by V. I. Golubeva. – Minsk: IVC Minfina, 2017. – 464 pp.

UDC 004.775:[331.5:004]

THE IMPACT OF GENERATIVE CHATBOTS ON THE IT SUPPORT AND HELPDESK LABOUR MARKET

Kolosovsky M.Y.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Malikova I.G. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This paper analyzes the growing influence of generative artificial intelligence on IT support services and the labour market. Special attention is given to the use of generative chatbots for automating routine technical requests. The study shows that artificial intelligence tools transform professional roles and required competencies rather than completely replacing human workers.

Keywords: artificial intelligence, generative models, chatbots, IT support, automation, labour market.

Introduction. Artificial intelligence technologies are fundamentally reshaping the landscape of modern digital infrastructures [1]. In recent years, the development and deployment of generative large language models have accelerated dramatically, leading to their widespread adoption across a multitude of sectors. Among the most significant areas of application is customer service and technical support. These sophisticated AI systems possess the advanced capability to process natural language requests with high accuracy, understand context, and generate detailed, coherent responses. This functionality makes them exceptionally well-suited for assisting users with a broad spectrum of technical problems, ranging from the simple to the moderately complex.

Historically, technical support departments have been burdened by a high volume of repetitive and predictable inquiries. Common issues such as password recovery, configuration problems, software troubleshooting, and requests for instructions on using internal corporate systems constitute a significant portion of daily tickets. As these tasks often follow well-defined and predictable patterns, they represent a prime opportunity for automation [1]. The integration of intelligent conversational systems offers a pathway to streamline these processes, reduce the workload on human agents, and provide users with faster, more consistent resolutions.

Main part. The core functionality of generative chatbots in this domain lies in their sophisticated ability to analyze user questions, interpret their underlying meaning and intent, and deliver structured, actionable recommendations. Unlike traditional rule-based chatbots that rely on keyword matching, generative AI models utilize deep learning to understand the context and nuances of human language, including slang, typos, and complex sentence structures [4]. When a user describes a problem, the AI model parses the query, identifies key entities and pain points, and cross-references this information with data stored in internal corporate knowledge bases, FAQ databases, and even historical ticket resolutions. In many instances, the system can dynamically generate personalized, step-by-step troubleshooting instructions, guide users through complex configuration wizards using natural language, or provide direct hyperlinks to relevant video tutorials or documentation articles. The immediate and most visible benefit for the end-user is the receipt of instant, “always-on” assistance, available 24 hours a day, 7 days a week, without the frustration of waiting in a queue for a human specialist to become available. This immediacy not only boosts user satisfaction but also reduces the abandonment rate often seen in traditional support channels.

This advanced capability positions generative chatbots to serve as an exceptionally effective first line of support within modern organizations [1]. They act as intelligent triage agents and virtual assistants, initially engaging with the user to collect essential diagnostic information and systematically attempt to resolve the issue automatically. This process can involve asking dynamic, context-aware clarifying questions, running basic remote diagnostic checks, pulling relevant error codes from system logs, or guiding the user through common fixes like clearing a cache or resetting a modem. For example, if a user reports being unable to connect to the corporate VPN, the chatbot can automatically verify their network status, check if their account is locked, and provide the correct connection steps based on their operating system [4]. If the system encounters a problem it cannot solve with certainty, or if the issue is highly novel and falls outside

its predefined confidence threshold, the request is seamlessly escalated and transferred to a human support engineer [1]. Crucially, the chatbot provides this engineer with a comprehensive and structured summary of the entire interaction, including the user's initial problem description, the exact steps already taken to resolve it, any diagnostic data gathered during the session, and the user's device information. This "arm handoff" eliminates the need for the customer to repeat themselves and enables the human expert to dive directly into advanced troubleshooting, thereby enabling a more efficient, informed, and empathetic resolution.

However, the practical effectiveness of these AI-driven support systems is heavily contingent on the quality, structure, and breadth of the underlying data they rely upon. If the organizational knowledge bases are incomplete, outdated, poorly structured, or filled with technical jargon, the AI tool will likely produce inaccurate, irrelevant, or even misleading answers [4]. In some cases, this can lead to the phenomenon of "AI hallucination," where the model generates a confident but completely fictitious response. This dependency underscores a critical prerequisite for successful implementation: companies must often invest considerable effort in a knowledge management overhaul. This involves auditing existing documentation for accuracy and gaps, restructuring information for clarity and consistency, creating new, AI-friendly content, and establishing continuous feedback loops where human agents can flag and correct errors made by the AI. This foundational work ensures that the knowledge fed to the AI is reliable, comprehensive, and contextually relevant, which is the bedrock of building user trust in the system.

The widespread introduction of generative AI into technical support is also having a profound and multifaceted influence on labour market dynamics and the very nature of technical work [2]. Consequently, entirely new professional roles and specializations are emerging within support teams. Engineers may now find themselves involved in "bot training" and prompt engineering curating and maintaining the knowledge bases that feed the AI, monitoring chatbot performance and accuracy metrics, analyzing interaction data to identify emerging product trends or documentation gaps, and strategically integrating AI tools into broader service workflows to optimize overall efficiency [1]. This shift requires a new blend of technical and analytical skills, transforming the support department from a cost center focused on ticket volume into a strategic source of insights and a driver of product improvement.

Conclusion. In summary, generative chatbots represent a significant and transformative technological development for the field of IT support services. Their ability to provide immediate, 24/7 assistance dramatically improves response times for common issues and enables organizations to efficiently manage large volumes of routine requests without a proportional increase in support staff. This leads to greater operational efficiency and enhanced user satisfaction. At the same time, it is crucial to recognize that these systems are not designed to fully replace human specialists. Instead, their primary impact is to transform the structure of technical support work by intelligently redistributing tasks between automated systems and human engineers. The future of effective technical support lies not in choosing between AI and human expertise, but in creating a symbiotic relationship between them. Organizations that strategically combine the speed and scalability of artificial intelligence with the nuanced judgment, empathy, and complex problem-solving skills of their human workforce will be best positioned to improve efficiency, reduce costs, and provide a superior quality of technical support in the years to come.

References

1. *SimpleOne. AI for support: how artificial intelligence changes service desks and customer experience. 2026 [Electronic resource]. Mode of access: https://simpleone.ru/blog/ai-for-support. Date of access: 05.02.2026.*
2. *Teutloff O., Einsiedler J., Kässi O., Braesemann F., Mishkin P., del Rio-Chanona R. Winners and losers of generative AI: Early evidence of shifts in freelancer demand. Journal of Economic Behavior & Organization, 2025 [Electronic resource]. Mode of access: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167268124004591. Date of access: 18.02.2026.*
3. *Ahmadi M., Khoshkheslat N., Akintomide A. Generative AI and the Labour Market: A Demand-Side Analysis of ChatGPT-Related Skills. University of North Texas, 2024 [Electronic resource]. Mode of access: https://arxiv.org/abs/2412.07042. Date of access: 22.02.2026.*
4. *Grzonka D., Swalek K., Abbasi I., Sagar K. The impact of the AI revolution on the ICT labour market. e-mentor, 2023. [Electronic resource]. Mode of access: https://ibe.edu.pl/images/EBiS/Numery/2023-2/EBiS-2023-2-4-The-impact-of-the-AI-revolution.pdf. Date of access: 01.03.2026.*

UDC: [004.8+378]:159.964.3

PSYCHOLOGICAL DEPENDENCE OF STUDENTS ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE EDUCATIONAL PROCESS

Korshunova V.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Goncharova I.V. – Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. The article examines the phenomenon of students' psychological dependence on neural networks in the educational process. The factors contributing to the formation of addiction are analyzed. The psychological aspects of the degradation of critical thinking and creativity with excessive use of AI are considered. A classification of the stages of addiction formation and measures to prevent negative consequences are proposed.

Keywords: neural networks, artificial intelligence, psychological dependence, educational process, cognitive abilities, students.

***Introduction*.** Artificial intelligence is being actively introduced into education, providing students with convenient tools for completing learning tasks. However, the ability to instantly generate answers leads to addiction: students complete tasks without deep analysis, which reduces their critical thinking and cognitive skills. Students with low academic self-efficacy become particularly susceptible to this addiction, using neural networks to reduce learning stress. The consequences are loss of independent thinking, limited self-reflection, and decreased creativity.[1] Despite its relevance, the psychological mechanisms of this dependence have not been sufficiently studied. The relevance of this study is due to the need to understand the mechanisms of this dependence in order to develop effective strategies to preserve the cognitive health of students in the context of digital transformation and the active introduction of artificial intelligence.

Main part. Psychological dependence on neural networks in the educational process is a persistent need for a person to use artificial intelligence tools to solve learning problems, accompanied by disregard for their own cognitive abilities, reduced tolerance to uncertainty and discomfort when access to these technologies is impossible.

The key factors contributing to the formation of this addiction are:

1 the principle of least effort and accessibility. Research shows that the main reason for students to use neural networks is to save time (59.1% of respondents), as well as help in solving problems and accessibility (45.5% each) [1]. The human brain is always looking for ways to simplify, and neural networks perfectly meet this need: they are available at any time, easy to use and give instant results. However, as the researchers note, using AI instead of its own intellectual capabilities makes it easier to solve learning problems, but does not increase the actual level of knowledge. This can make students dependent on neural networks, depriving them of the ability to build their own knowledge, creativity and self-sufficiency [1].

2 cognitive degradation. An experiment by scientists at the Massachusetts Institute of Technology showed that when using ChatGPT to write an essay, the subjects showed the least brain involvement. The EEG data recorded a decrease in activity in the areas responsible for attention, memory and creativity. The participants who used neural networks simply copied the text without delving into the content, while those who wrote independently demonstrated high neural activity [2]. The regular delegation of creative tasks to the neural network generates passive consumption instead of active thinking, which leads to cognitive degradation and the consolidation of dependence.

3 shifting responsibilities and delegating decisions. By accessing the neural network, the student shifts to it not only the search for information, but also the responsibility for its reliability. A pattern is being formed in which neural networks become a tool whose decisions are made without critical verification [3]. This reduces one's own activity and independence, consolidating dependence.

4 emotional comfort and anxiety relief. Research shows that academic anxiety is a key mediator between low academic self-efficacy and dependence on neural networks [1]. Students who are not confident in their abilities experience anxiety when performing learning tasks and turn to AI as a tool

to reduce this stress. High expectations from the results of using neural networks further enhance this dependence. However, the price for emotional comfort is a decrease in the ability to think independently and critically.

Based on the analysis of the key factors of the formation of dependence on artificial intelligence, the stages of dependence formation can be distinguished. They are shown in table 1.

Table 1 – Stages of formation of psychological dependence on artificial intelligence

Stage	Characteristic	Example of behavior
Situational use	The neural network is used only as an auxiliary tool for finding ideas or verifying solutions. One's own cognitive efforts prevail	The student asks the neural network to generate topic options for the course paper, but writes it himself
Regular use	The neural network is becoming the main tool for solving typical tasks. Critical analysis of artificial intelligence results is declining	A student generates a draft of an essay using AI, and then corrects it
Addiction formation	Performing tasks independently without the help of a neural network causes discomfort, anxiety, and doubts about the correctness of one's cognitive abilities	A student cannot write a simple essay or solve a problem without first contacting artificial intelligence for a ready answer
Total addiction	Full delegation of training tasks to the neural network. Renunciation of one's own mental activity. When access to artificial intelligence is blocked, a state of anxiety and helplessness occurs	The student uses AI to complete all tests, term papers, and even simple homework, losing the ability to learn independently

The negative psychological consequences of such dependence include the degradation of critical thinking, decreased creativity, as well as increased anxiety and self-doubt in the absence of access to artificial intelligence technologies.

To prevent and overcome this addiction, an integrated approach is needed, including: 1)creation of a new type of tasks that require analysis of the results of neural networks; 2) development of clearer instructions for completing tasks in order to reduce the temptation of using neural networks; 3) increasing the time to complete tasks for the possibility of independent comprehension of the material without haste; 4) a shift in the emphasis in education from evaluating the result to evaluating the process of completing tasks; 5) developing a healthy attitude towards errors as an indicator of growth areas, rather than an excuse for anxiety and recourse to neural networks; 6) psychological education of students about the risks of addiction and its various consequences; 7) gradually increasing the difficulty of tasks so that students can figure things out on their own, without resorting to AI at the first sign of difficulty.

Conclusion. Psychological dependence on artificial intelligence in the educational process poses a real threat to the development of students' cognitive abilities and personality. It is formed under the influence of accessibility factors, the speed of obtaining solutions and avoiding intellectual stress. Understanding the stages and mechanisms of this dependence is necessary to develop various approaches aimed at forming healthy and responsible interaction between students and artificial intelligence technologies, where neural networks act as a tool rather than a substitute for thinking. The future of education depends on our ability to maintain a balance between technological progress and the development of human thinking.

References

1. The chain mediating effect of academic anxiety and performance expectations between academic self-efficacy and generative AI reliance. [Electronic resource]. Mode of access: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666557325000345. Date of access: 01.03.2026.

2. ИИ снижает когнитивную активность: эксперимент с ChatGPT. [Electronic resource]. Mode of access: https://science.mail.ru/news/3934-chatgpt-otklyuchaet-mozg/. Date of access: 01.03.2026.

3. »ИИ-зависимость»: какие эффекты уже заметны, а какие – вероятны. [Electronic resource]. Mode of access: https://iq-media.ru/trends/ii-zavisimost-kakie-effekty-uzhe-zametny-a-kakie-veroyatny. Date of access: 01.03.2026.

UDC 004.9:37.09-057.875

GAMIFYING ACADEMIC ROUTINE: THE IMPACT OF CONTINUOUS ENGAGEMENT MECHANICS ON STUDENT MOTIVATION

Kudan T.A., Tereshkin A.Y.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Sokolova M.A. – Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This paper explores the integration of continuous engagement mechanics, specifically attendance streaks, into the academic routine of university students. The system was developed by combining a custom Telegram bot with the university's electronic environment to track student presence and visualize their daily attendance streaks using «fire» icons. The objective is to measure how this gamification element influences students' discipline. The experiment involves real-time tracking by group leaders and a follow-up survey to evaluate behavioral shifts, aiming to determine if simple digital rewards can effectively reduce absenteeism.

Keywords: gamification, student motivation, attendance tracking, continuous engagement, streaks, Telegram bot, educational technology.

***Introduction*.** University attendance often fluctuates throughout the semester. While some absences are unavoidable due to health or personal reasons, many stem from a simple drop in day-to-day motivation. Traditional systems rely on delayed rewards, like end-of-term grades, which often fail to motivate students to attend early morning lectures. To address this gap, developers and educators have started looking toward mechanics used in mobile applications and video games to keep users returning daily [1].

One of the most effective tools in this domain is the concept of a «streak» – an unbroken record of consecutive actions. This paper outlines an initiative to adapt the streak mechanism for the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (BSUIR), testing whether the visual representation of perfect attendance can alter student habits and improve overall engagement.

Main part. The essence of gamification in education relies heavily on Self-Determination Theory (SDT), which suggests that human motivation is driven by the needs for competence, autonomy, and relatedness [2]. In the context of university attendance, «competence» is often undermined by the lack of immediate feedback; a student does not feel they have achieved anything simply by sitting through a lecture.

A visual streak counter turns attendance into an active achievement, leveraging the «Endowed Progress Effect» to make students want to protect their accumulated progress. When a student sees a streak of five days, the cost of skipping the sixth day increases significantly, shifting the motivation from external pressure (fear of the dean's office) to internal drive (desire to maintain the streak).

The core of this experiment relies on bringing gamification directly into the communication channels students already use. BSUIR operates an Integrated Information System (IIS) where schedules and official data are logged. However, to make the feedback loop immediate, we designed an intermediary tool: a custom Telegram bot.

The bot serves a dual purpose. First, it streamlines the administrative duties of the group leader (monitor). Instead of managing paper spreadsheets, the leader opens the bot during a class and selects the names of absent students from a pre-loaded list. The system immediately registers who is present. Second, the bot acts as a personal dashboard for the students. Upon checking the bot, a student sees their current attendance status represented by a «fire» emoji – their streak. Every consecutive day a student attends all scheduled classes, the number next to the fire increases. If they miss an unexcused class, the streak breaks and the counter resets to zero.

The system is built using Python, utilizing the aiogram library for asynchronous communication with the Telegram API. This choice ensures the bot can handle simultaneous requests from multiple users without latency. The backend operates on a lightweight SQLite database, which stores student unique identifiers (Telegram IDs), their current streak count, and a history of daily attendance logs.

To ensure data integrity, the bot employs a role-based access control system. Only the authorized group leader has access to the «Admin Panel» command set. Regular students have read-

only access to their personal statistics. This separation prevents unauthorized modifications of attendance records while maintaining transparency for all participants.

The effectiveness of this system relies on established behavioral concepts, primarily loss aversion. Humans naturally prefer avoiding losses over acquiring equivalent gains [3]. When a student builds an attendance streak of twenty consecutive days, the prospect of losing that progress and resetting to zero becomes a tangible psychological cost.

The fire emoji acts as a micro-reward. It does not carry official academic weight and does not directly affect a student's final average grade, yet it provides immediate visual feedback that standard grading systems lack. This mechanism mirrors the engagement loops found in applications like Duolingo or TikTok, where users are compelled to return daily to maintain their continuous digital status [4]. We hypothesize that students will make an extra effort to attend classes on days when their motivation is low simply to preserve their accumulated streak.

To validate this hypothesis, we are rolling out the Telegram bot to a specific academic group consisting of 33 students. The experiment is designed to last for one academic semester and is divided into two distinct phases to ensure data validity.

Phase 1: The Blind Baseline (4 weeks). In the first month, the group leader will log attendance through the bot, but the «streak» feature will be hidden from the students. They will not receive notifications or see the fire icons. This phase allows us to collect baseline data on the group's natural attendance habits without the influence of gamification.

Phase 2: The Active Streak (8 weeks). In the second phase, the interface will go live. Students will be able to see their fire icons and track their progress. We will measure the change in attendance rates compared to the baseline. Specifically, we will track «at-risk» days – Mondays and Saturdays – where attendance typically drops, to see if the streak mechanic mitigates absenteeism on these specific days.

Quantitative data will be drawn directly from the bot's database. However, numbers alone do not explain behavioral shifts. Therefore, qualitative data will be gathered via a structured survey at the end of the trial. The questionnaire will use a Likert scale (1–5) to ask students to rate how often they considered skipping a class but decided to attend specifically because of the streak mechanic. We will also collect feedback on the user experience and whether the gamified environment generated any unnecessary anxiety (FOMO).

If the Telegram bot proves effective in boosting attendance for the test group of 33 students, the logical next step is native integration into the university's infrastructure. The streak mechanic could be built directly into the official BSUIR IIS student dashboard. A native integration would eventually eliminate the need for manual input by group leaders. Attendance could be verified automatically through integration with electronic passes or university Wi-Fi access points. Furthermore, the university could expand the gamification model by tying high streaks to tangible micro-rewards, such as unique digital profile badges, certificates, or minor bonuses in the rating system for hostel accommodation.

Conclusion. Modifying student behavior does not always require strict punitive measures or major overhauls of the university grading system. Applying a simple, visually appealing tracking metric taps into basic human psychology, creating a daily sense of accomplishment. By testing the fire streak mechanic through a Telegram bot on a pilot group, we are taking a practical, low-cost step toward modernizing the academic routine. The data collected from this experiment will clarify exactly how much influence a simple digital flame holds over daily motivation, providing a scalable template for broader implementation across BSUIR.

References

1. Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., & Nacke, L. (2011). From game design elements to gamefulness: defining gamification. Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference, 9-15.

2. Dicheva, D., Dichev, C., Agre, G., & Angelova, G. (2015). Gamification in Education: A Systematic Mapping Study. Educational Technology & Society, 18(3), 75-88.

3. Kahneman, D., & Tversky, A. (1979). Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk. Econometrica, 47(2), 263-291.

4. Eyal, N. (2014). Hooked: How to Build Habit-Forming Products. Portfolio/Penguin.

UDC 004.8:004.413

THE IMPLEMETNATION OF VIBE CODING IN SOFTWARE ENGINEERING

Kungurtsev A.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Goncharova I.V. – Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. Vibe coding is an emerging AI-driven development technique characterized by a more intuitive, "by feel" approach, using natural language prompts for LLMs and involving minimal manual line-by-line programming, applied to create and improve software models. In order to understand this groundbreaking paradigm shift, in this article we examine the main points of practical implementation, effects on the labor market, and the benefits and risks of the phenomenon in question. The main objective is to dig into queries of maintainability, security, long-term technical efficiency and speed and accessibility.

Keywords: Vibe Coding, Large Language Models, Natural Language Programming.

Introduction. For decades, software engineering has been all about taking things to the next level of Annotationion. We moved from machine code to assembly, then to high-level languages like C, C++ and Java. Now we have frameworks that take care of the basics of architecture build-up and make it primitively Annotation by delivering the developer from manually configuring the files and CLI (Command Line Interface) commands. Today, we are witnessing the latest and perhaps most radical leap: «Vibe Coding.» Originated within developer circles and popularized by prominent figures in the field of computer science like Andrej Karpathy, the term «Vibe Coding» refers to the methodology where the developer functions more as a supervisor and a manager of intent than as a writer of syntax. The concept implies that the developer «vibes», so gets along and is in harmony with a LLM such as Claude, Chat GPT, Gemini, etc., describing desired outcomes in natural language and continuously makes adjustments, instead of meticulously crafting and applying functions manually. This shift represents a fundamental change in the relationship between human logic and machine execution, as the ratio of involvement changes towards the machine (shown in Figure 1).

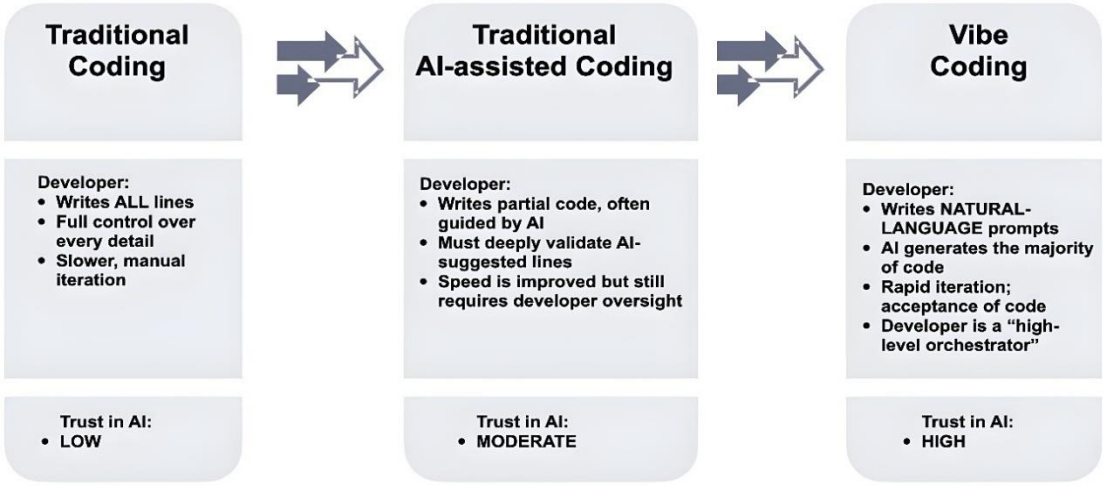


Figure 1 – Representation of a paradigm shift in coding

Main part. At its core, vibe coding is the realization of Natural Language Programming (NLP) powered by Large Language Models (LLMs). According to Google Cloud and IBM, the gist of this phenomenon is the shift from thinking about how to do something and focus on what exactly needs to be done. Traditional coding requires the developer to translate an algorithm into a rigid, syntactically correct sequence of commands. Vibe coding bypasses this translation layer. The developer provides a high-level «vibe» (a description of a feature, a UI layout, or a chain of reasoning) and the AI generates the underlying foundation of code, logic, and multi-file integration.

This is not an exaggeration of filling in the blanks. It is a back and forth conversation. Vibe coding is based on the models' ability to understand the situation when the plan is not clear and composed enough.

Today the implementation of vibe coding lies within integrated development environments (IDEs), that provide a suitable UI and all the necessary tools. Examples include Google AI Studio and Gemini-powered tools that generate full apps and support one-click deployment, IDE assistants that insert and test code, and agent frameworks that orchestrate multi-step tasks. Tool choice depends on one's requirements and goals, such as multi-file coherence, long-running agentic tasks, certain platform support, speed, cost and quality.

In the labor market influence of vibe coding is a subject of intense debate. The new approach lowers the barrier to entry for building software, enabling non-programmers and domain experts to create applications, which can accelerate innovation by reducing production costs and time-to-market for small projects. On the other hand, the generated code can also be complicated, duplicated, or poorly structured, increasing long-term maintenance costs, as studies report higher rates of logical errors and vulnerabilities in AI-written code, and real incidents show that agents can sometimes “hallucinate” or fabricate data.

In addition, the «junior developer paradox» is becoming more evident and problematic. If AI handles all the entry-level coding tasks, junior developers may find fewer opportunities to learn the fundamental syntax and debugging skills required for senior-level architectural oversight. When a developer «vibes» their way into building a complex system without understanding the underlying logic, they become unable to fix the system when their methods become unreliable, for instance when AI generates «spaghetti code» that functions in the short term but is impossible to refactor manually later. This creates a gap in skill levels, which can lead to crisis in the industry.

The cause of the emergence of vibe coding is the massive expansion of LLM context windows and reasoning capabilities; the effect is a decoupling of «coding» from «programming». In the future, we can expect that there will be a high-demand niche for those who build and optimize the LLMs and underlying systems and a huge number of vibe-coding engineers who assemble products through high-level management. However, the future outlook provided by gray literature reviews suggests a looming «maintenance crisis.» As billions of lines of “vibed” code enter production, the industry will eventually require a new generation of AI tools specifically designed to deconstruct and clean up the unoptimized outputs of today’s generative agents.

Conclusion. The implementation of vibe coding in software engineering is an inevitable evolution, representing the ultimate Annotationion of logic. Giving freedom to human creativity, it democratizes application development by focusing on architecture and letting a machine do the more monotonous part of the work. However, software engineering is more than just making things work; it is about making things last. Practical implementation should treat vibe coding as a toolchain component for ideation but requiring testing, code review, and refactoring before production use. Organizations that combine agentic automation with disciplined engineering basics can benefit while lowering the documented risks to quality and security. The most reasonable path is not to abandon engineering basics but to adapt it for a world where natural language and autonomous agents are first-class development inputs.

References

1. *Vibe Coding Explained: Tools and Guides [Electronic resource]. Mode of access: https://cloud.google.com/discover/what-is-vibe-coding. Date of access: 06.03.2026.*

2. *Vibe coding [Electronic resource]. Mode of access: https://en.wikipedia.org/wiki/Vibe_coding. Date of access: 06.03.2026.*

3. *Vibe coding: programming through conversation with artificial intelligence [Electronic resource]. Mode of access: https://arxiv.org/abs/2506.23253. Date of access: 06.03.2026.*

4. *A Review on Vibe Coding: Fundamentals, State-of-the-art, Challenges and Future Directions [Electronic resource]. Mode of access: . Date of access: 06.03.2026.*

5. Vibe Coding in Practice: Motivations, Challenges, and a Future Outlook – a Grey Literature Review [Electronic resource]. Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/396094422_Vibe_Coding_in_Practice_Motivations_Challenges_and_a_Future_Outlook_-_a_Grey_Literature_Review. Date of access: 06.03.2026.

6. The Evidence Against Vibe Coding: What Research Reveals About AI Code Quality [Electronic resource]. Mode of access: https://www.softwareseni.com/the-evidence-against-vibe-coding-what-research-reveals-about-ai-code-quality/. Date of access: 06.03.2026.

UDC 004.77

HOW CHATBOTS AND VOICE ASSISTANTS WORK

Kupriyanovich O. A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Likhtarovitch I. I. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This article examines how conversational artificial intelligence, including chatbots and voice assistants, is transforming human–machine interaction. It describes the key technologies behind these systems and their applications in finance, healthcare, and education. The paper also discusses the advantages of conversational AI and addresses its limitations, including data-privacy concerns.

Keywords. Artificial intelligence, conversational AI, chatbots, voice assistants.

***Introduction*.** In an era where instant communication and immediate problem-solving have become the norm, conversational artificial intelligence (AI) has emerged as a transformative technology reshaping how humans interact with machines. Chatbots and voice assistants, once simplistic programs capable of only basic responses, have evolved into sophisticated systems that understand context, recognize emotions, and engage in natural, human-like dialogue. From customer service automation to healthcare support and smart home management, these AI-powered tools have become integral to both business operations and daily life. This report examines the fundamental technologies powering chatbots and voice assistants, explores their diverse applications across industries, analyzes their advantages and limitations, and considers future developments that will define the next generation of conversational AI.

Main part. Conversational artificial intelligence refers to technologies such as chatbots and voice assistants that enable machines to understand, process, and respond to human language in natural and meaningful ways. These systems automate communication and enable personalized customer and employee experiences at scale [1].

Chatbots are computer programs integrated into messaging platforms that interact with users via text. They primarily reside in text channels, including web widgets, in-app chat, and social messaging platforms. Early chatbots followed rigid decision trees with preprogrammed, fixed scripted responses, but modern versions have evolved into AI-powered systems driven by large language models that facilitate more human-like conversations. These contemporary chatbots can interpret natural language, access customer relationship management data, share images or links, and hand off to human agents when needed [2].

Voice assistants, also called voicebots, are voice-enabled intelligent chatbots that interact with users and respond to spoken commands primarily through voice. These systems process spoken input and return spoken or visual responses, encompassing smart speaker skills, interactive voice response replacements, or voice-enabled mobile applications. Voice assistants typically handle one request at a time – such as «Play jazz» or «Check my balance» – and rely on speech-to-text and text-to-speech pipelines alongside intent recognition. Latency requirements are stricter for voice assistants than chatbots because long pauses feel unnatural in conversation [3].

The operation of chatbots and voice assistants relies on a sophisticated interplay of multiple AI technologies working in sequence. At its core, a conversational AI follows a three-step process: speech-to-text conversion, language processing, and text-to-speech synthesis [1].

The process begins with the AI interpreting the user's input, which may be in text or speech form. For voice interactions, speech inputs are first converted into text using automatic speech recognition technologies.

Dialogue management orchestrates the conversation with the user, guiding the interaction based on the intent, context, and system capabilities. This component maintains conversation state, tracks context across multiple turns, and determines appropriate next steps. For instance, when a user asks about the weather and follows up with “What about tomorrow?”, the dialogue manager understands that «tomorrow» refers to a weather query for the following day at the previously mentioned location.

The dialogue manager may involve querying databases, accessing knowledge bases, or carrying out specific actions to provide precise and relevant responses [4].

Many conversational AI systems integrate with external knowledge sources to enhance their responses. Knowledge bases serve as structured memory storage, containing domain-specific information such as medical guidelines, legal regulations, etc. When responding to queries requiring specific information, the system retrieves relevant knowledge and incorporates it into the response generation process [5].

Conversational AI is transforming customer interaction and operational processes across virtually every industry sector. The technology automates routine interactions, allowing human agents to focus on complex, high-value conversations [1].

In healthcare, conversational AI enhances patient outcomes and operational efficiency through automated appointment scheduling and by providing easier access to personal health data while maintaining privacy. Voice assistants help with appointment scheduling, medication reminders, and symptom checking, enabling patients to receive voice-guided assistance anytime. AI-powered systems can reference symptoms, medical histories, and drug interactions to aid preliminary assessments. Healthcare providers also use voice assistants to automate tasks such as checking patient eligibility, sending appointment reminders, and logging post-visit summaries, freeing staff to focus on care delivery [1][6].

Educational applications include personalizing tutoring, transcribing lecture notes, and enhancing language learning through real-time conversations. Voicebots serve as interactive tutors, send course reminders, and support language learning, making studying more engaging and effective [1][6].

The main advantages include: 24/7 availability, operational cost reduction (projected $80+ billion savings by 2026), scalability, personalization, accessibility for users with limited digital literacy, and hands-free operation.

Among the main limitations are difficulty processing sarcasm and idioms, inaccurate responses in complex scenarios, poor conversation flow, data privacy concerns, high implementation costs, emotional intelligence deficit, and multilingual constraints requiring extensive training data.

The market for conversational AI is growing very quickly (see Figure 1). It is expected to increase from $14.29 billion in 2025 to $41.39 billion within the following five years. Another report predicts that the market for intelligent virtual assistants will reach $18.91 billion by 2032, with an annual growth rate of 23.7 percent. This rapid growth is happening because an increasing number of industries – like retail, healthcare, banking, telecom, and travel – are adopting AI-powered tools to handle customer support.

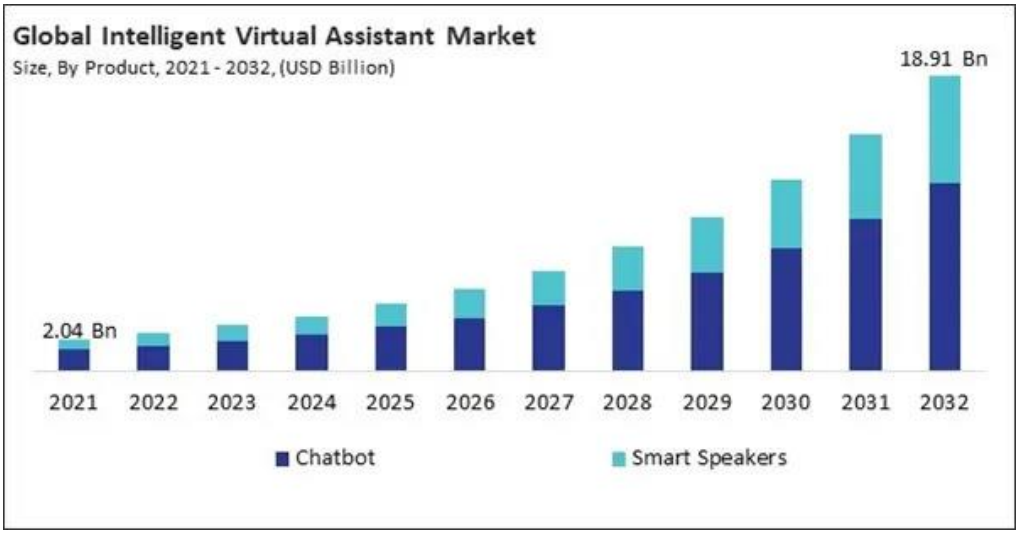


Figure 1 – Global Intelligent Virtual Assistant Market

Soon, AI systems will not only respond to commands; they will also take action autonomously. These assistants will be able to book appointments, process refunds, or send reminders without any

human help. They will also become more emotionally aware, detecting feelings like stress or frustration through voice tone and responding with empathy [7].

AI is also becoming more specialized. Instead of giving generic answers, future systems will be capable of understanding specific industries – helping doctors with diagnoses, lawyers with document reviews, or logistics companies with daily operations.

Security will improve too. Voice biometrics will let systems identify users by their unique voice patterns, making passwords unnecessary and helping to prevent fraud. Finally, as more devices connect to the Internet of Things, voice interaction will become the primary method for controlling connected devices from home appliances to cars, making AI a natural part of everyday life [7].

***Conclusion*.** Chatbots and voice assistants have transformed human-technology interaction through ASR, NLU, and TTS technologies. They deliver measurable benefits across customer service, healthcare, education, and finance: continuous availability, cost reduction, and personalized experiences. However, significant challenges persist – nuance recognition deficits, data privacy concerns, and development costs. Future systems will feature enhanced contextual memory, emotional intelligence, Global and autonomous task execution. The distinction between chatbots and voice assistants will likely diminish, yielding integrated conversational agents combining both modalities for optimal user experiences.

References

1. What is conversational AI: Benefits and applications. [Electronic resource] / SAP., 11.06.2024. – Mode of access : https://www.sap.com/africa/resources/what-is-conversational-ai / Date of access : 20.02.2025.

2. 7 conversational AI use cases for faster, smarter support. [Electronic resource] / Telnyx., 10.02.2026. – Mode of access : https://telnyx.com/resources/7-conversational-ai-use-cases#7-conversational-ai-use-cases/ Date of access : 20.02.2025.

3. How to build a conversational agent in less time than Cupid's arrow takes to strike. [Electronic resource] / Speechmatics., 04.04.2025. – Mode of access : https://www.speechmatics.com/company/articles-and-news/how-to-build-a-conversational-agent-in-less-time-than-cupids-arrow-takes-to-strike?utm_campaign=voice-ai-agents-2025 / Date of access : 20.02.2025.

4. Intelligent Virtual Assistant Market Analysis Report 2025. Yahoo Finance. [Electronic resource] / Research and Markets., 24.07.2025. – Mode of access : https://finance.yahoo.com/news/intelligent-virtual-assistant-market-analysis-092400355.html?guccounter=1 / Date of access : 20.02.2025.

5. Three-Mode Fusion New Paradigm: Chatbox + Knowledge Base + MCP = Machine Learning Personal Voice Assistant. [Electronic resource] Baidu Cloud., 11.10.2025. – Mode of access : https://cloud.baidu.com/article/3938385i / Date of access : 20.02.2025.

6. Voicebot vs Chatbot: Which AI Tool Fits Your Business Best? [Electronic resource] / ConvoZen.AI., 28.06.2025. https://convozen.ai/blog/contact-center/voicebot-vs-chatbot/#respond – Mode of access / Date of access : 20.02.2025.

7. Future of Conversational AI [Electronic resource] / ConvoZen.AI., 18.07.2025. – Mode of access : https://convozen.ai/blog/ai/future-of-conversational-ai/?utm_source=openai#respond / Date of access : 20.02.2025.

UDC 004.42:502-048.34

A TOOL FOR MONITORING RESOURCE USAGE AND ENERGY CONSUMPTION OF SOFTWARE APPLICATIONS TO SUPPORT GREEN OPTIMIZATION

Laptinsky V.I.; Volkolovsky I.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Likhtarovitch I. I. – Senior Lecturer at the department of Foreign Languages

Annotation. This paper presents GreenDev Monitor, a tool for visualizing resource usage and energy efficiency of software applications. The system enables developers to evaluate the impact of code optimizations on energy consumption in real time and analyse performance changes during experimental testing. Experimental evaluation shows that green optimization reduces energy consumption by 33.9% while improving performance by 13.4%.

Keywords: software energy consumption, green technologies, resource monitoring, algorithm optimization, Spring Boot, energy efficiency

***Introduction*.** The problem of software energy efficiency is becoming increasingly relevant as computational workloads and cloud infrastructure usage continue to grow [1]. Research shows that non-optimized application code may consume 20–40% more energy than optimized equivalents [2, 3]. The concept of Green Software Engineering focuses on tools and methodologies that allow developers to assess and reduce the energy footprint of their applications [4]. At the same time, the lack of simple and accessible tools for measuring the energy impact of software decisions still limits the practical adoption of green optimization principles in everyday software development.

Existing energy profilers (Intel RAPL, ALEA, Green Metrics Tool) are primarily research-oriented and often require specialized hardware or complex setup procedures [5]. Therefore, creating a simple and accessible tool for everyday use by software engineers remains an important research and engineering task.

The objective of this work is to develop a web-based tool for monitoring resource usage and estimating energy efficiency, allowing developers to analyse and visualize the impact of optimizations on energy consumption and performance.

Main part. The developed GreenDev Monitor tool provides the collection and visualization of the following metrics:

– CPU load (CPU Load, %);

– RAM usage (Memory Usage, MB);

– estimated energy consumption (Estimated Energy, Wh).

Energy consumption is estimated using a linear model (Formula 1):

$$E \approx k_{CPU} \cdot \overline{CPU} \cdot t + k_{RAM} \cdot \overline{RAM} \cdot t, \qquad (1)$$

where is the estimated energy consumption (Wh);

k_{CPU} and k_{RAM} are calibration coefficients (W/% and W/GB);

$\overline{\text{CPU}}$ and $\overline{\text{RAM}}$ are average CPU load and memory usage;

t is execution time (hours).

The system architecture includes a metrics collection module, which is a background Java service that launches the application under test and periodically polls operating system counters; an energy calculation module that applies the mathematical model to the collected time series; a Spring Boot-based REST API that provides endpoints for managing measurement sessions and retrieving data; a PostgreSQL database that stores sessions, metrics, and experiment results. Such modular architecture allows the monitoring system to be easily extended with additional metrics or integrated with external profiling tools. This flexibility makes the tool suitable for both experimental research

and practical software development tasks.The monitoring results are presented to users through a web interface implemented as a responsive dashboard containing charts and tables. The interface allows developers to observe resource usage dynamics during application execution and analyse the impact of code changes on system performance and estimated energy consumption. Examples of the monitoring interface are presented in Figures 1–3.

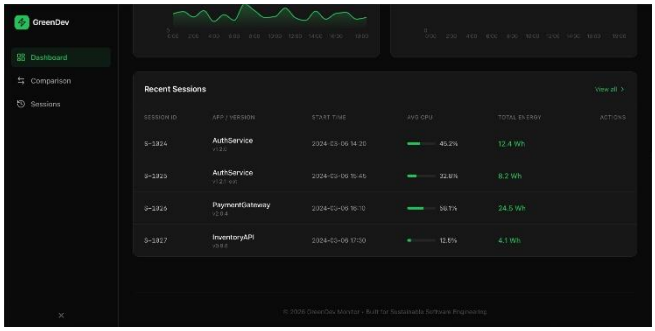


Figure 1 – Main monitoring dashboard with metric cards and system load charts

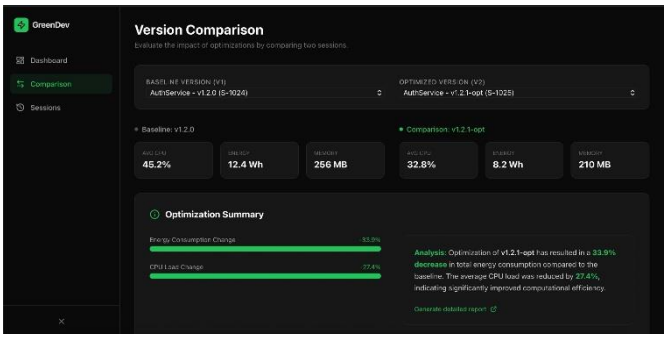


Figure 2 – Application version comparison page with energy consumption change visualization

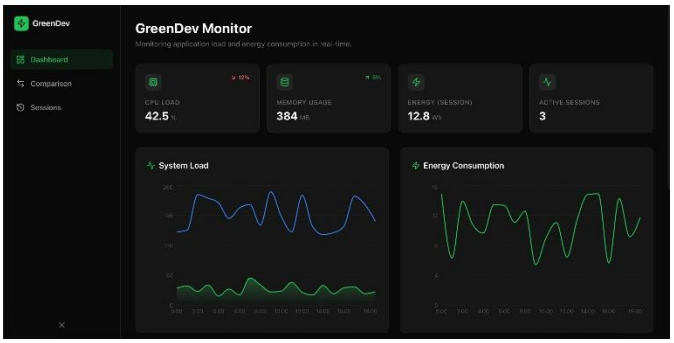


Figure 3 – Measurement sessions table with key metrics

The interface consists of three main pages: Dashboard (overview of metrics and real-time charts), Version Comparison (comparison of two versions of the application), and Session Details (detailed information about a specific session).

Table 1 – Technological stack of the prototype

Component	Technology
Backend	Java 17, Spring Boot 3.x
Database	PostgreSQL 15
Metrics collection	Java ProcessBuilder API
Frontend	HTML5, CSS3, JavaScript, Chart.js

The database includes three main tables: sessions (session metadata), metrics (detailed time series), and experiments (version comparison results). The metrics collection module launches the application under test as a child process and polls system counters (CPU, memory) every 1 second. Data are sent to PostgreSQL via REST API. After the session is finished, the energy calculation module aggregates metrics and computes estimated energy using the specified formula. The web interface is implemented in a dark color scheme with green accents in line with the Green IT concept. Charts are generated using the Chart.js library.

To evaluate the impact of optimizations on energy consumption and performance, an experiment was conducted using the AuthService Spring Boot web application. The methodology involved conducting a baseline measurement (v1.2.0), during which the application was subjected to load testing with 1000 sequential HTTP requests; identifying optimization points such as non-optimal SQL queries, redundant loops, and the absence of caching; implementing the optimizations in version v1.2.1-opt by adding database indexes, introducing Spring Cache, and replacing loops with Java parallel streams; performing a re-measurement of the optimized version; and finally carrying out a comparative analysis of the obtained results. The experiment results are presented in Table 2.

Table 2 – Comparison of metrics before and after optimization

Metric	Baseline	Optimized	Change (%)
Average CPU load, %	45.2	32.8	-27.4
Memory usage, MB	256	210	-18.0
Energy consumption, Wh	12.4	8.2	-33.9
Execution time, sec	187	162	-13.4

Optimization led to a 33.9% reduction in energy consumption with a simultaneous 13.4% performance improvement. The greatest effect was achieved through SQL query optimization (about 40% of the total energy savings), caching (30%), improved processing algorithms (20%), and elimination of redundant computations (10%). The results confirm that well-designed green optimization can simultaneously improve application performance and energy efficiency without significant trade-offs.

***Conclusion*.** The developed GreenDev Monitor tool provides developers with a simple and visual mechanism for assessing application energy efficiency. The experimental study demonstrated the practical value of the tool: green optimization reduced energy consumption by 33.9% while improving performance by 13.4%. Future work includes integration with hardware profilers (Intel RAPL), expanding support for various platforms, and implementing automatic optimization recommendations. This work contributes to the development of the Green Software Engineering concept and can serve as a foundation for further research in the field of energy-efficient programming. The proposed approach also demonstrates that integrating energy-awareness into everyday development tools can become an important step toward more sustainable and environmentally responsible software systems.

References

1. National Center for Biotechnology Information. Green IT Meaning in Energy Monitoring Practices (2023) [Electronic resource]. – Mode of access: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9875191/. – Date of access: 07.03.2026

2. IJFMR. Green Computing: Optimizing Algorithms for Energy Efficiency. International Journal For Multidisciplinary Research, 2025, Vol. 5 [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.ijfmr.com/papers/2025/5/58349.pdf. – Date of access: 07.03.2026

3. Scientific Research Publishing. Green Software Engineering: A Study on Energy-Efficient Design (2025) [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=144329. – Date of access: 07.03.2026

4. University of Twente. A comprehensive monitoring toolkit for energy consumption measurement (2025) [Electronic resource]. – Mode of access: https://research.utwente.nl/en/publications/a-comprehensive-monitoring-toolkit-for-energy-consumption-measure/. – Date of access: 07.03.2026

5. Green-coding-solutions. Green Metrics Tool – Measure energy consumption (2022) [Electronic resource]. – Mode of access: https://github.com/green-coding-solutions/green-metrics-tool. – Date of access: 07.03.2026.

UDC 004.42:316.6

ENGAGEMENT ENGINEERING: THE ARCHITECTURE OF PSICHOLOGICAL DEPENDENCE IN DIGITAL SYSTEMS

Malakhotkina E. A., Chesnakova E. V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Andreeva O.V. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. Nowadays modern digital entertainment, especially video games, goes beyond being just software. This paper examines the intersection of game design and data-driven algorithms in "Engagement Engineering" to create compelling experiences that may foster psychological dependence. Analyzing the psychological principles, technical methods and ethical issues, it argues for responsible engineering that balances user well-being with commercial goals.

Keywords: Engagement Engineering, game design, behavioral algorithms, psychological dependence, user retention, ethical design.

***Introduction*.** In the contemporary digital landscape, the distinction between entertainment software and persuasive technology has become increasingly blurred. Video games and social platforms are considered to be complex systems architected to capture and hold user's attention. This phenomenon is known as "Engagement Engineering", an approach that merges behavioral psychology, user experience (UX) design, and data science. Its primary objective is to maximize key performance indicators such as daily active users and session length. Mechanisms that make game applications so compelling also possess significant potential to cultivate patterns of problematic use and psychological dependence. This paper aims to analyze how core psychological triggers are incorporated into codes and design, the impact of machine learning on user engagement, and social responsibilities of creators in these digital environments.

Main part. To understand the scope of these responsibilities, it is essential to analyse the psychological blueprint of engagement. The effectiveness of Engagement Engineering is based on its application of long-established behavioral principles. Central to this is the concept of operant conditioning, specifically the power of variable-ratio reinforcement schedules. When rewards – such as a rare in-game item, a loot box outcome, or a social media notification – are delivered unpredictably, they reinforce the preceding behavior most effectively. This concept is reflected in game mechanics such as random drops and gacha systems, creating repetitive actions in hopes of being rewarded next time. Moreover, game design is an artful manipulation of cognitive biases, making users more engaged and invested in the experience. The goal-gradient effect brings motivation to a peak when a user literally nears a visible achievement, and sunk cost fallacy recommends further investment to justify any money spent previously. These are all carefully designed user retention hooks. While extrinsic rewards are a critical piece of the equation, truly understanding engagement requires digging deeper into intrinsic motivation and can be considered within Self-Determination Theory (SDT). While the motivational prowess of video games is well documented, research has found that video games are uniquely able to meet basic psychological needs for competence and autonomy [1]. These foundational principles form a systematic toolkit for digital engagement (table 1):

Table 1 – Core Psychological Triggers and Their Digital Implementations

Psychological Principle	Technical Implementation in Digital Products	Primary Design Goal
Variable-Ratio Reinforcement	Random loot boxes, unpredictable critical hits, social media «pull-to-refresh».	To encourage repetitive checking and interaction through uncertainty.
Goal-Gradient Effect	Progress bars, experience points (XP), achievement systems, battle passes with tiers.	To increase engagement intensity as the user nears a completion milestone.
Social Obligation & Reciprocity	Guild/clan activities, team quests, gift systems, streaks shared with friends.	To utilize social pressure and community bonds to ensure regular return.
Fear of Missing Out (Loss Aversion)	Daily login bonuses, limited-time events, exclusive seasonal content.	To drive consistent daily interaction by framing inactivity as a loss.

The real-time, scalable power of these principles is unlocked through algorithmic implementation. Engagement systems have evolved from static rule sets into adaptive, learning environments through continuous data telemetry. This data feeds into player models, allowing the system to tailor the experience at an individual level. A key technique is Dynamic Difficulty Adjustment (DDA), where algorithms subtly modify challenge levels to prevent frustration or boredom, aiming to keep the user in a state of optimal flow [2]. Machine learning models are also deployed to identify the precise moment when a user is most likely to make a purchase or respond to a notification. This creates a powerful, self-optimizing feedback loop (figure 1).

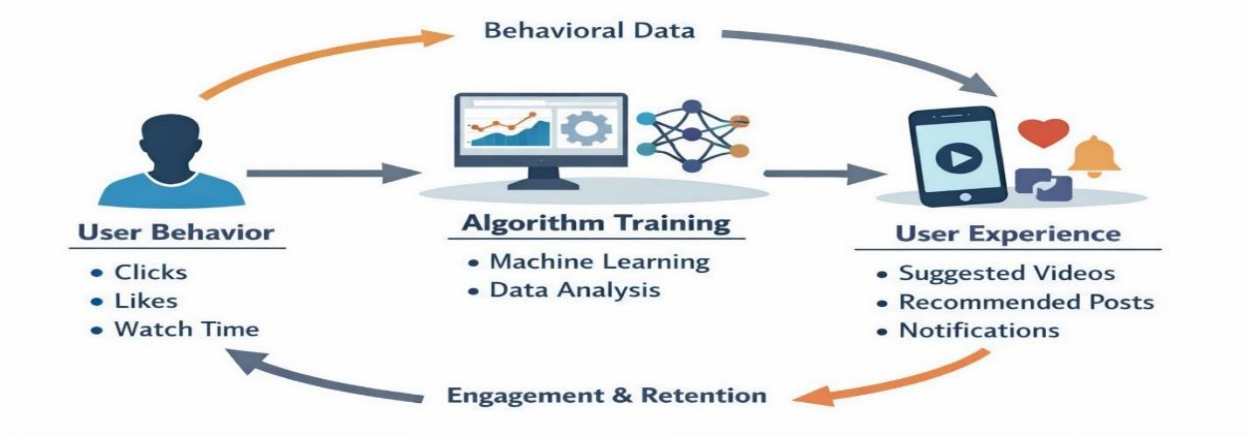


Figure 1 – Schematic of the closed feedback loop in Engagement Engineering, where user behavior trains algorithms that subsequently shape future user experience to increase retention

The user interacts with the system, generating behavioral data that refines the algorithmic model, which personalizes the environment to guide the user's future actions more effectively. The system learns, in real-time, how to better engage its user, a process formalized in models of habit-forming product design [3].

The formidable efficacy of this engineered loop shifts the focus from mechanism to consequence. However, this commercial success is accompanied by growing concern from health professionals. The World Health Organization's recognition of "Gaming Disorder" highlights the potential for severe negative outcomes, including significant impairment in personal and social functioning [4]. Software engineers face a profound ethical dilemma, as their tools can inadvertently contribute to harm. Users are rarely fully informed on the ways of modeling their psychology, and these systems may disproportionately affect vulnerable demographics. Engineering choice that prioritizes "engagement at all costs" must be reevaluated in favor of a balance that includes digital well-being. The future of ethical digital design lies in developing human-centric frameworks that promote healthy use – such as transparent disclosure of randomized item odds, meaningful usage timers, and spending limits – alongside research into algorithmic transparency and interdisciplinary collaboration to establish responsible design standards.

Conclusion. Engagement Engineering should be observed as a central ethical consideration of our time. The core challenge that engineers encounter is moving beyond the narrow paradigm focused solely on capturing attention. The future of the industry depends on a conscious shift towards human-centric design, where technical mastery in creating engaging products is linked with responsibility for their impact. The overarching aim must be to develop technologies that augment human autonomy and well-being, fostering a digital environment that adds value to our lives instead of extracting it.

References

1. Ryan, R. M., Rigby, C. S., & Przybylski, A. (2006). The Motivational Pull of Video Games: A Self-Determination Theory Approach. Motivation and Emotion, 30(4), 344-360.

2. Hunicke, R. (2005). The case for dynamic difficulty adjustment in games. In Proceedings of the 2005 ACM SIGCHI International Conference on Advances in computer entertainment technology (pp. 429-433). New York: ACM.

3. Eyal, N. (2014). Hooked: How to Build Habit-Forming Products. New York: Portfolio Penguin.

*4. World Health Organization (WHO). (2019). *International Classification of Diseases, 11th Revision (ICD-11)* [Electronic resource]. – Mode of access: https://icd.who.int/en/. – Date of access: 10.03.2026.*

UDC 004.8: [378.016:81’243]

PROMPT ENGINEERING FOR IMPROVING FOREIGN LANGUAGE SKILLS OF TECHNICAL UNIVERSITY STUDENTS

Markovets D.Y., Pashkevich D.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Goncharova I. V. – Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. The article focuses on the use of prompt engineering as an effective tool for independent work on the formation of students’ foreign language skills in the context of digitalization of education. With its help, learning a foreign language in a technical university is faster, more conscious and more enjoyable than with most standard services. A university graduate who knows the basics of interacting with generative AI will be competitive in the labor market and will be able to meet the demands of the digital economic ecosystem that is already being formed today.

Keywords: prompt, prompt engineering, foreign language skills.

***Introduction*.** The most important tasks of teaching a foreign language in the conditions of a technical university are to teach students professional foreign language communication, to gain knowledge and to develop skills that allow future specialists to use a foreign language in their professional activities adequately. The main goal of independent work in terms of practical use of a foreign language is to achieve an appropriate level of foreign language communicative competence. This goal is achieved by using various types and forms of independent students’ work in learning a foreign language in the educational process.

Students’ independent work on improving their foreign language skills is carried out using textbooks and applications with the same exercises. Systematic work with these tools yields results, but the goals, level and real situations in which the language is used are rarely taken into account, plus a lack of time and inability to manage time properly lead to the fact that students reduce the effectiveness of independent study and consolidation of foreign language material. Neural networks are changing this approach. Unlike applications with a fixed programme, artificial intelligence adapts to the level of proficiency in a foreign language, takes into account the time that will actually be spent on consolidating the material, reacts to errors and questions at the moment, and creates a live practice rather than a set of exercises. The integration of artificial intelligence (AI) technologies into the educational process allows the use of prompt engineering in organizing regular and productive students’ independent work to improve foreign language skills [4].

Main part. Prompt is a text description of a task that needs to be completed using an AI model. This is a query that is given to the model to generate text, images, code, or other types of content. However, there is an important caveat: the quality of training directly depends on the prompt [1]. With the help of well-formulated suggestions, AI can be turned into a personal teacher – for conversational practice, grammar and vocabulary, adapted specifically to a student's level of foreign language proficiency.

Prompt engineering is a process of creating efficient and accurate tools for working with large language models (LLM). It should be noted that the effectiveness and quality of the feedback received from generative AI depends on the student's ability to formulate a prompt correctly in order to solve a specific problem.

The experience of interacting with generative AI indicates that a low-quality prompt, as a rule, leads to the generation of superficial, inaccurate, or ethically unsafe information materials, which in turn contributes to discrediting the idea of using AI technologies in the educational process. Thus, it can be said that prompt engineering is being transformed from a highly technical skill into a fundamental competence, including the formation of communication skills for interacting with AI along with the development of critical thinking aimed at assessing the quality of the information generated and the expediency of its further use [3].

A library of prompts is a set of high-quality tools that can be used for teaching or testing a language model. The prompts in the library can be grouped by theme, style, or other parameters, making them easier to find and use. Using the prompt library allows us to speed up the process of

creating content using language models, and provides a more predictable result, since all requests have already been pre-checked. It should be considered that models are regularly updated and it will be useful to test the existing prompts on new versions [2].

We have collected the main top tips for learning a foreign language. This is not just a list of queries, but also a system of formulating prompts that allows you to train foreign language skills and gradually increase the level of a foreign language proficiency.

The basic constructor of a prompt when learning a foreign language looks like this: role → task → level/goal → format → restrictions/verification [5]. “You are [the role]. I'm learning [the language], + my level is [A2/B1], the goal is [studying at BSUIR/ speaking at a conference], the format is [dialogue/exercises], correct mistakes like this: [gently/severely], at the end is a mini-test”.

A big problem with foreign language self-training is the lack of structure. Today you learn a new group of words, tomorrow you learn new grammar rules, the day after tomorrow you learn nothing. The prompt solves the problem of structure (a kind of personal plan): “Make a 7-day study plan for the B2 level to study [insert topic]. I can practice for [X] minutes a day. Include exercises for monologue speech, listening comprehension, reading and writing, suitable for my level”. That prompt provides a clear starting point in language learning, helps to build regular training sessions and distribute the load between conversational practice, listening comprehension, reading and writing evenly, so that learning is not chaotic and one-sided.

Successful assimilation of professionally oriented vocabulary can be ensured with the help of the following prompt: “Give me 20 basic words on the topic [language] for everyday use. Divide them into categories (words, basic phrases, speech cliches), specify the pronunciation and check after”. Vocabulary is presented in semantic blocks immediately, indicating pronunciation and usage examples in context, and memorizing turns into active practice with verification, rather than passive reading of lists. You can ask: “Add examples of sentences” or “Do a multiple-choice test”.

The improvement of dialogue speech can be carried out with the help of a prompt, the “mock interview simulator”: “Behave like a friendly native speaker. Start a basic conversation with me. Ask one question at a time and correct all grammar mistakes in my speech”. This approach reduces the fear of making mistakes, turns learning into a real communication instead of a set of exercises, and provides gentle corrections immediately in the context of real communication, rather than in isolation from the situation.

Conclusion. Well-formulated prompts turn AI into a universal language coach – personal, patient and accessible at any time. Ignoring the need to develop prompt engineering skills at the present stage creates risks of professional lag in the future.

A university graduate who does not know the basics of interacting with generative AI will be uncompetitive in the labor market and will not be able to meet the demands of the digital economic ecosystem fully that is already being formed today. A student, a future engineer who knows the basics of prompt engineering, will be able to develop personalized communication tasks and training exercises with the help of AI independently to improve foreign language skills, generate ideas for discussion, optimize routine workload, for example, related to the need to work with documentation and electronic business correspondence, create projects in a foreign language, as well as receive analytical support from AI. This will allow him to continue using a foreign language in his professional activities successfully.

References

1. Generative art. Online course of Sberbank University. [electronic resource]. – Mode of access: https://courses.sberuniversity.ru/generative_art/img/13. – Date of access: 12.03.2026.

2. Google Prompt engineering Guide. Part 1: fundamentals and basic techniques [Electronic resource]. – Mode of access: https://habr.com/ru/articles/901426. – Date of access: 13.03.2026.

3. Gunina N. A. Prompt engineering as a pedagogical technology of teaching a foreign language //Editorial board: Gunina NA–Candidate of Philology, Associate Professor, Head of the Department «Foreign Languages. – 2025. – Mode of access: https://www.tstu.ru/book/elib1/pdf/2025/Gunina2.pdf#page=113. – Date of access: 13.03.2026.

4. Kuvshinova E. E. The use of artificial intelligence in teaching a foreign language // Humanities of the South of Russia. 2024. No. 2. – Mode of access: https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-iskusstvennogo-intellekta-v-obuchenii-inostrannomu-yazyku. – Date of access: 13.03.2026.

5. Lin Z. Prompt Engineering for Applied Linguistics: Elements, Examples, Techniques, and Strategies // English Language Teaching. 2024. Vol. 17. No. 9. P. 1-14. – Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/383056511. – Date of access: 13.03.2026.

UDC 004.382.2

QUANTUM COMPUTERS: PRINCIPLES OF OPERATION AND PROSPECTS FOR APPLICATION

Melnikov I. M., Miatselitsa M. P.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Perevyshko A. I. - Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This article is devoted to quantum computers. At the beginning, the reasons for their introduction are noted. Then much attention is given to the working principles of quantum computers. After that it is pointed out some examples of quantum algorithms. Next it is spoken about engineering challenges. At the end the future of quantum computing is emphasized.

Keywords: quantum computer, qubit, superposition, quantum entanglement, quantum algorithm, quantum gate.

Introduction. The growth of data volumes and computational complexity have pushed classical computers to their limits, making problems in cryptography, drug discovery, and optimisation intractable for conventional architectures. Quantum computers exploit quantum mechanical phenomena to perform calculations that would take classical supercomputers millions of years. Since Feynman proposed quantum computation in 1982 [1] and Shor demonstrated a polynomial-time factorisation algorithm in 1994 [2], the field has grown dramatically, attracting worldwide investment from governments and academia.

Main part. The fundamental unit of quantum information is the qubit (quantum bit). Unlike a classical bit, which can exist only in state 0 or 1, a qubit can exist in a superposition of both states simultaneously. Mathematically, the state of a qubit is written as $|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$, where α and β are complex probability amplitudes satisfying $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$. Upon measurement, the qubit collapses to state $|0\rangle$ with probability $|\alpha|^2$ or to $|1\rangle$ with probability $|\beta|^2$. A quantum register of n qubits can represent 2^n states simultaneously, providing an exponential increase in information space compared with classical registers [3].

A second key resource is quantum entanglement. When two or more qubits are entangled, the measurement outcome of one qubit instantaneously determines the state of its partners, regardless of the physical distance between them. Entanglement enables quantum computers to process correlated information in ways that have no classical analogue and is essential for quantum teleportation and superdense coding protocols [4].

Quantum interference is the third pillar of quantum computation. Quantum algorithms are designed so that computational paths leading to wrong answers interfere destructively (their amplitudes cancel), while paths leading to correct answers interfere constructively (their amplitudes add). This mechanism is what allows quantum algorithms to find correct answers with high probability using far fewer steps than brute-force classical search [3].

Quantum computation is most commonly described using the circuit model, which is analogous to classical Boolean circuits. Operations on qubits are performed by quantum gates – unitary transformations represented by matrices. The single-qubit Hadamard gate (H) creates an equal superposition of $|0\rangle$ and $|1\rangle$, forming the starting point of many quantum algorithms. The Pauli-X gate acts as a quantum NOT gate, flipping $|0\rangle$ to $|1\rangle$ and vice versa. The phase gate S introduces a relative phase of $\pi/2$ between the basis states [5].

Two-qubit gates enable entanglement. The Controlled-NOT (CNOT) gate flips the target qubit if and only if the control qubit is in state $|1\rangle$. Together with single-qubit rotations, the CNOT gate forms a universal set, meaning that any unitary operation on an arbitrary number of qubits can be approximated to any desired accuracy using only these elementary gates [5]. This universality is the quantum counterpart of classical NAND universality.

Shor's algorithm for integer factorisation is among the most celebrated quantum algorithms. It runs in polynomial time $O((\log N)^3)$, an exponential improvement over the best known classical algorithm, the general number field sieve [2]. Because the security of RSA encryption rests on the hardness of factorisation, a fault-tolerant quantum computer executing Shor's algorithm would render

current public-key infrastructure obsolete, motivating intensive research into post-quantum cryptography.

Grover's algorithm provides a quadratic speedup for unstructured database search, reducing the number of queries from O(N) classically to O(√N) quantumly [6]. Although a quadratic rather than exponential gain, it has broad applicability: it can accelerate any classical algorithm whose inner loop reduces to a search over N possibilities. Applications include satisfiability problems, collision finding in hash functions, and combinatorial optimisation.

The Variational Quantum Eigensolver (VQE) and the Quantum Approximate Optimisation Algorithm (QAOA) are hybrid classical-quantum algorithms designed for near-term devices. VQE estimates the ground-state energy of molecular Hamiltonians and is directly relevant to drug design and catalyst discovery; QAOA targets combinatorial optimisation problems such as portfolio balancing and traffic routing [7].

Several physical platforms are currently being explored for realising qubits. Superconducting qubits, based on Josephson junctions cooled to millikelvin temperatures, are the approach used by IBM, Google, and Rigetti. In 2019, Google's 53-qubit Sycamore processor performed a specific sampling task in 200 seconds that was estimated to require 10,000 years on the then-best classical supercomputer, a milestone described as achieving quantum computational advantage [8].

Trapped-ion systems confine individual atomic ions using electromagnetic fields and manipulate their internal electronic states with laser pulses. IonQ and Quantinuum utilise this technology, which offers higher gate fidelities and longer coherence times than superconducting qubits, albeit at slower gate speeds. Photonic qubits encode information in the quantum states of individual photons and are attractive for room-temperature operation and optical networking [9].

The primary obstacle to practical quantum computation is decoherence: unwanted interactions between qubits and their environment cause quantum states to degrade, introducing errors. Quantum error correction (QEC) codes, such as the surface code, can protect logical qubits from physical errors, but require roughly 1,000 physical qubits per logical qubit at current error rates, making large-scale fault-tolerant systems a long-term engineering challenge [10].

Despite these challenges, progress is accelerating. The NISQ (Noisy Intermediate-Scale Quantum) era, characterised by devices with 50–1,000 qubits without full error correction, is expected to demonstrate practical quantum advantage for specific industrial problems within this decade. Quantum simulation of chemical and biological systems is considered the most near-term application, promising breakthroughs in personalised medicine and the discovery of new materials for batteries and superconductors [7].

Conclusion. Quantum computers exploit superposition, entanglement, and interference to solve specific computational problems with an efficiency unattainable by classical machines. Significant engineering obstacles – chiefly decoherence and the overhead of error correction – must still be overcome before fault-tolerant quantum computing becomes a reality, yet the field is advancing rapidly. Near-term NISQ devices already offer platforms for hybrid quantum-classical algorithms with concrete applications in chemistry, optimisation, and machine learning. In the longer term, fault-tolerant quantum computers are expected to transform fields as diverse as cryptography, logistics, financial modelling, and artificial intelligence, making quantum computing one of the most strategically significant technologies of the 21st century.

References

1. Feynman R.P. Simulating physics with computers // International Journal of Theoretical Physics. – 1982. – Vol. 21. – P. 467–488.

2. Shor P.W. Polynomial-time algorithms for prime factorization and discrete logarithms on a quantum computer // SIAM Journal on Computing. – 1997. – Vol. 26. – P. 1484–1509.

3. Nielsen, M. A. Quantum Computation and Quantum Information/ M. A. Nielsen, I.L. Chuang – Cambridge University Press, 2010. – 704 p.

4. Einstein A., Podolsky B., Rosen N. Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete? // Physical Review. – 1935. – Vol. 47. – P. 777–780.

5. Barenco A. et al. Elementary gates for quantum computation // Physical Review A. – 1995. – Vol. 52. – P. 3457–3467.

6. Grover L.K. A fast quantum mechanical algorithm for database search // Proceedings of the 28th ACM Symposium on Theory of Computing. – 1996. – P. 212–219.

7. Preskill J. Quantum computing in the NISQ era and beyond // Quantum. – 2018. – Vol. 2. – P. 79.

8. Arute F. et al. Quantum supremacy using a programmable superconducting processor // Nature. – 2019. – Vol. 574. – P. 505–510.

9. Krantz P. et al. A quantum engineer's guide to superconducting qubits // Applied Physics Reviews. – 2019. – Vol. 6. – P. 021318.

10. Fowler A.M. et al. Surface codes: Towards practical large-scale quantum computation // Physical Review A. – 2012. – Vol. 86. – P. 032324.

UDC 621.391.63

LI-FI – WIRELESS DATA TRANSMISSION USING LIGHT

Mischenko U.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Likhtarovitch I. I. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This article explores Li-Fi (Light Fidelity) as an innovative wireless communication technology using light waves for data transmission. It explains Li-Fi's principles based on LED modulation, compares it with traditional Wi-Fi, and highlights advantages such as high speed, security, and low electromagnetic interference. Limitations and potential applications in healthcare, aviation, education and smart infrastructure are also discussed.

Keywords. Li-Fi, wireless communication, LED modulation, high-speed data transmission.

***Introduction*.** The rapid development of digital technologies has significantly increased the demand for faster and more reliable wireless communication systems. At present, Wi-Fi remains the primary means of wireless Internet access. However, the growing number of connected devices leads to network congestion and reduced transmission speeds. Furthermore, radio frequency (RF) communication may cause interference in sensitive environments such as hospitals and aircraft cabins.

In this context, Li-Fi (Light Fidelity) has emerged as a promising alternative. The term was first introduced by Professor Harald Haas in 2011, when he demonstrated the possibility of transmitting data using visible light. Li-Fi belongs to the field of Visible Light Communication (VLC) and represents a new stage in the evolution of wireless networking technologies.

Main part. Li-Fi is part of Visible Light Communication (VLC) technology and can be considered an important stage in the development of modern wireless networks. The operating principle of Li-Fi is based on the rapid modulation of light intensity. LEDs can switch on and off millions of times per second, and these changes are invisible to the human eye. By encoding binary data into light pulses, information can be transmitted from a light source to a receiving device equipped with a photodetector. The photodetector converts variations in light intensity into electrical signals, which are then processed into digital data.

The communication process in a Li-Fi system typically includes three main components: a light source (LED lamp), a driver circuit that modulates the signal, and a photodetector receiver. The driver circuit controls the LED's intensity according to the data being transmitted. When the LED is switched on, it represents a binary "1"; when it is switched off, it represents a binary "0". In more advanced systems, complex modulation techniques such as Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) are used to increase data transmission rates and improve reliability [1].

Unlike Wi-Fi, which functions within the radio frequency (RF) spectrum, Li-Fi operates in the visible light spectrum, ranging from approximately 400 to 800 terahertz. The visible spectrum is nearly 10,000 times broader than the entire RF range. This creates a clear advantage in terms of available bandwidth and helps minimize the risk of network congestion. As the number of connected devices worldwide continues to increase, the RF spectrum becomes more saturated. Li-Fi provides a possible solution by extending wireless communication into a new and largely untapped part of the spectrum.

Another notable advantage of Li-Fi is its high data transmission rate. Under laboratory conditions, data transmission speeds of several gigabits per second have been achieved. Such capabilities make Li-Fi appropriate for high-definition video streaming, virtual reality systems, and the transfer of large volumes of data. Even in real-world applications, Li-Fi technology can deliver speeds comparable to, and sometimes exceeding, those of conventional Wi-Fi networks.

Recent experimental studies have demonstrated that Li-Fi systems can achieve data transmission rates exceeding 10 Gbps under controlled laboratory conditions. Such performance is enabled by advanced modulation techniques and parallel transmission using multiple LED arrays. These findings suggest that Li-Fi has the potential to compete with, and in certain scenarios surpass, existing high-speed wireless communication technologies.

Security is also considered one of the main strengths of Li-Fi technology. Because visible light cannot pass through solid barriers such as walls, the signal remains limited to a specific room or enclosed space. This natural restriction improves data protection and lowers the risk of external interception. For organizations that work with confidential information, including financial institutions and government bodies, Li-Fi can serve as an additional level of cybersecurity protection.

Li-Fi is especially valuable in environments where the use of radio frequency communication is limited or considered unsafe. For example, in hospitals, RF signals may interfere with sensitive medical devices and monitoring systems. In the military sector, Li-Fi can be particularly beneficial due to its enhanced security and minimal risk of signal interception. Since Li-Fi relies on visible light rather than radio waves, it does not create electromagnetic interference, which makes it suitable for use in such sensitive conditions. In addition, industrial facilities and power plants can benefit from Li-Fi technology, as it enables stable communication without negatively affecting electronic equipment [2].

Another important advantage of Li-Fi is its energy efficiency. LED lighting systems are already widely used due to their low power consumption and long lifespan. By integrating Li-Fi into existing LED infrastructure, lighting systems can also simultaneously function as wireless data transmitters. This dual functionality reduces the need for additional equipment and helps lower installation costs. Moreover, such integration contributes to sustainable development initiatives. In smart buildings and smart cities, streetlights equipped with Li-Fi modules could provide internet access while still performing their primary lighting function.

Despite its significant potential, Li-Fi technology also faces several challenges. One of the main limitations is the requirement for a direct or reflected line of sight between the transmitter and the receiver. Any physical object placed between them can block the signal and disrupt communication. In addition, Li-Fi performance may be influenced by strong ambient light sources, especially direct sunlight, which can decrease signal quality. Researchers continue working on improving system stability and ensuring reliable operation under different environmental conditions.

Mobility is another issue to consider. Unlike Wi-Fi networks, which allow users to move freely between rooms and coverage areas, Li-Fi systems may need multiple light sources to maintain continuous connectivity. This may increase infrastructure complexity as well as overall costs. Furthermore, Li-Fi cannot operate when the light source is completely switched off, although communication remains possible when the light is dimmed to a low intensity.

Li-Fi has numerous potential applications in various sectors. In healthcare institutions, it can provide secure communication without interfering with medical equipment. In aviation, the technology may be used for in-flight entertainment and onboard internet systems. Educational institutions could benefit from smart classrooms where LED lighting offers high-speed connectivity. Beyond these examples, Li-Fi may also play an important role in the development of smart cities, underwater communication, and modern industrial automation.

***Conclusion*.** Li-Fi represents an innovative approach to wireless data transmission by using visible light instead of radio waves. This technology has significant advantages such as high speed, security, reduced interference, and energy efficiency. At the same time, problems such as limited range and line-of-sight requirements must be solved for widespread implementation.

Li-Fi has significant potential to complement existing wireless technologies rather than replace them entirely. As research and technological development continue, Li-Fi may become an essential component of next-generation communication networks, contributing to faster, more secure and more sustainable digital connectivity.

References

1. Technology details of Li-Fi. [Electronic resource] / Wikipedia., 11.06.2025. – Mode of access: https://en.wikipedia.org/wiki/Li-Fi https://en.wikipedia.org/wiki/Li-Fi / Date of access: 02.03.2026.

2. Преимущества технологии Li-Fi и где их можно использовать [Electronic resource] / Хабр, 14.03.2023 Mode of access: https://habr.com/ru/articles/722174/ Date of access: 02.03.2026.

UDC 351.862.211.7:004.8

FROM ALERTS TO ACTION: AI AGENTS IN MODERN SECURITY OPERATIONS

Nasevich A.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Malikova I.G. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. With the rapid growth in telemetry volume, as well as the creation of new and increasingly sophisticated cyber threats, security operations centers (SOCs) are facing the problem of alert overload and reduced operational efficiency. This article examines the main architectural causes of this problem and analyzes the possibility of introducing AI agents into the SOC infrastructure. It describes the SOC architectural model in which AI agents have been implemented, as well as their advantages and limitations.

Keywords: AI agents, cybersecurity, security operation center, alert fatigue, artificial intelligence.

***Introduction*.** Due to the rapid development of information technology, cloud services, and distributed information systems, the nature of cybersecurity has changed significantly in recent years. Data comes from antivirus software, intrusion detection systems, and other monitoring systems. As a result, security operations centers (SOCs) have to process alerts almost continuously. Not all of these alerts indicate real threats; a significant portion of them are false positives and lead to a serious problem known as alert fatigue, which in turn can cause analysts to miss critical incidents. Traditional security systems based on rules and manual monitoring often prove outdated in the face of rapidly evolving cyber threats, including those that use artificial intelligence. Therefore, cybersecurity operations require more adaptive, modern, and intelligent approaches [3].

One of the most promising solutions is the use of artificial intelligence agents in security centers [1].

***Main part*.** Modern security monitoring centers use Security Information and Event Management (SIEM) platforms that centralize telemetry from various sources [4]. These sources can include cloud services, access control systems, servers, etc. The system generates alerts based on predefined rules, behavior and pattern analysis, and anomaly detection algorithms.

As digital infrastructure grows, the number of connected services and devices increases, with each new component adding data for processing. In large companies, the number of alerts can reach tens of thousands per day, with only a small fraction of them related to actual incidents. False positives require manual verification by level 1 analysts, and the constant processing of insignificant information increases the time to detect (MTTD) and respond (MTTR).

From an engineering perspective, the problem is a scaling imbalance: the volume of telemetry is growing very rapidly due to digital transformation, while SOC analytical resources are increasing at a slower rate. This creates a systemic bottleneck and leads to longer queues for event processing. As a result, the SOC is shifting from a proactive defense model to a reactive one, where the response occurs after an incident has already started or developed. Therefore, the problem of alert overload should be viewed as a systemic design problem that requires certain architectural changes.

The implementation of AI agents in SOC architecture significantly improves the efficiency of security incident handling [1]. Unlike standard methods, AI agents analyze data in context, are more flexible, and are able to adjust and adapt to changes in infrastructure.

The SOC architecture into which AI has been implemented is divided into several levels [4].

At the data level, telemetry from various sources, such as servers and cloud services, is processed.

At the analytical level, certain anomaly detection algorithms are applied, such as Isolation Forest and autoencoders. UEBA behavioral algorithms and graph neural networks (GNN) are also used.

At the orchestration level, AI agents can autonomously execute response scenarios, such as account blocking or node isolation.

At the same time, the analyst does not lose control of the situation; they perform the final verification and make the final decisions in a typical scenario (human-in-the-loop mechanism). Thus,

an AI-based SOC is a hybrid model where automation speeds up data processing and humans provide strategic control.

The use of AI agents in SOCs significantly improves the operational efficiency of security monitoring centers.

First, it reduces the time to detect and respond to incidents (MTTD and MTTR) [4]. Automatic prioritization and pre-processing of alerts reduces the burden on people and speeds up the escalation of critical events.

Second, it increases the scalability of the system; automation reduces the SOC's dependence on staffing levels, allowing monitoring to be scaled without hiring new employees [3].

Third, it reduces the number of false positives; machine learning models adapt to specific infrastructure and accurately distinguish between normal activity and potential threats.

As a result, fewer employees perform the same amount of work as in traditional security systems and can focus on more cognitively complex tasks, such as searching for hidden threats and investigating incidents. However, the effectiveness of AI implementation must be assessed taking into account the associated risks.

First, the accuracy of the models depends on the quantity and quality of the training data [2]. If the data contains errors or is insufficient, the agent may not work correctly, for example, it may miss an important attack.

Second, there are risks of adversarial attacks (notably data poisoning and evasion attacks), which can lead to classification errors that allow the security system to be bypassed [2].

Similarly, excessive automation without the necessary level of human control can lead to critical response errors.

***Conclusion*.** Thus, the implementation of AI agents requires not only technical configuration, but also a robust control system with audit and control mechanisms.

The growth of digital infrastructures and the increase in cyber threats require a modernized approach to SOC operations.

Traditional systems based solely on rules cannot cope with the growing volume of data and number of alerts. The integration of AI agents makes it possible to increase the speed and quality of monitoring, improve the incident prioritization system, reduce the number of level 1 analysts, and reduce the workload on the rest. At the same time, this implementation must be consistent and accompanied by quality control, risk management, and the preservation of the leading role of humans.

AI agents should be viewed as analytical tools within the human-in-the-loop model. The most promising approach is a hybrid SOC model, in which automation only speeds up data processing, while specialists provide strategic control and analysis of complex situations.

References

1. AI Agent Trends 2026 Report [Electronic resource]. Mode of access: https://cloud.google.com/resources/content/ai-agent-trends-2026. Date of access: 27.02.2026.

2. Maslej N., Fattorini L., Perrault R., Gil Y., Parli V., Kariuki N., Capstick E., Reuel A., Brynjolfsson E., Etchemendy J., Ligett K., Lyons T., Manyika J., Niebles J. C., Shoham Y., Wald R., Walsh T., Hamrah A., Santarlasci L., Lotufo J. B., Rome A., Shi A., Oak S. (2025) Artificial Intelligence Index Report 2025. Stanford Institute for Human-Centered Artificial Intelligence, Stanford University [Electronic resource]. Mode of access: https://hai.stanford.edu/ai-index/2025-aiindex-report. Date of access: 02.03.2026.

3. Milojicic D., Abedi A., Acero A., Ahamed S. I. et al. (2026) Technology Predictions 2026. IEEE Computer Society [Electronic resource]. Mode of access: https://ieeecs-media.computer.org/media/tech-news/tech-predictions-report-2026.pdf. Date of access: 03.03.2026.

4. Mohsin A., Janicke H., Ibrahim A., Sarker I. H., Camtepe S. (2025) A Unified Framework for Human-AI Collaboration in Security Operations Centers with Trusted Autonomy [Electronic resource]. Mode of access: https://arxiv.org/abs/2505.23397. Date of access: 05.03.2026.

UDC 004.8:070

ENEMY OR COLLABORATOR? THE IMAGE OF AI AND NEW TECHNOLOGIES IN ENGLISH-LANGUAGE ART JOURNALS

Petrenko D.A., Makaruk P.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Yushkevich E.V. – Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This paper investigates the reshaping of contemporary art through artificial intelligence, rejecting simplistic claims of technological displacement. By analyzing discussions in major art journals and applying theoretical models it reveals the adaptation of artists and cultural institutions to AI integration. The analysis traces the shift from artist to system architect, highlights institutional pressures from digital platforms, and confronts fundamental questions about aesthetic value. Drawing on current debates about socio-technical imaginaries, the argument centers on the necessity of critically engaging with power dynamics in AI deployment – ensuring that human agency endures within cultural creation.

Keywords: artificial intelligence; contemporary art; post-AI; art of protocol; museums; aesthetic value; human agency; algorithmic culture; socio-technical imaginaries; digital institutions.

***Introduction*.** The intersection of art and emerging technology, particularly artificial intelligence, remains fraught with ambiguity. While early enthusiasm in major English-language art publications centered on AI's capacity to produce visual works, that fascination has evolved into a deeper inquiry: can algorithmic systems supplant human artistic expression?

Publications like ArtReview reflect this complexity by assembling diverse voices – artists, theorists, and critics – engaged in sustained dialogue about the implications of a post-AI artistic condition. These exchanges move beyond the reductive narrative of machine versus maker. Instead, they confront how technological transformation redefines authorship, intention, and value.

Artists today are no longer passive consumers of AI tools. Many have taken active roles in shaping these systems – designing custom models or adapting algorithms to achieve specific aesthetic outcomes. Their work pushes boundaries that were previously unattainable. Yet underlying this technical engagement is a profound question: when anyone can generate an image from a brief textual prompt, what does it mean to be an artist?

This shift extends beyond creators to those who mediate and present art. Institutions once defined artistic legitimacy through curated exhibitions and institutional authority. That authority now faces competition from digital platforms where visibility is determined by algorithmic logic rather than curatorial selection. The result is not just changing access but divergent evaluations within professional circles – some embracing the new terrain while others reject it as a dilution of artistic integrity.

Main part. The term itself now serves as a threshold, not a conclusion. At the pivotal ArtReview roundtable, figures like Avery Singer, Simon Denny, Holly Herndon, Mat Dryhurst, and Jon Rafman questioned whether the era of simply responding to AI's emergence had truly passed [1]. For Matt Dryhurst, the core issue lies in AI's elusiveness: it operates as a concept "even more slippery than the internet.

The implications redefine artistic practice. Dryhurst and Herndon advance "the art of protocol" as a framework: genuine creativity in this century doesn't begin with a single image but with constructing systems capable of endless variation. As Dryhurst puts it, "Art happens when an agent establishes rules or boundaries." Here, the artist functions not just as creator but as architect – designing the underlying logic that shapes what emerges from platforms and algorithms.

Yet this view demands deeper scrutiny. Recent arguments in The Journal of Aesthetics and Art Criticism challenge the idea that mass-produced AI art – generated by non-specialists using basic prompts through tools like DALL-E – can bear full aesthetic weight beyond formal qualities. Unlike earlier procedural systems such as AARON by Harold Cohen, where intention was woven into code, these outputs deliver results that feel more mechanical than meaningful. They resemble artifacts shaped by process rather than vision – proximate to objects but distant from traditional notions of art.

If Dryhurst defines the artist's role as crafting protocols, philosophical critique insists that the protocol and its outcome are not interchangeable. The artist emerging in the post-AI era does more than configure algorithms – she restores agency to the creative sequence of permeation, generation, and selection, transforming mass-produced AI output into work that carries genuine intention.

If artists redefine their practices around protocols, the institutions that exhibit their work face a fundamental challenge from the new technological landscape. In another article, ArtReview Alistair Hudson argues that new «technology-driven institutions», such as the Outernet in London or teamLab Planets in Tokyo, attracting huge crowds, directly challenge the authority of traditional museums [2]. This creates a visible division between the «popular» appeal of immersive digital spectacles and the integrity of the traditional museum. However, Hudson argues that this opposition is more untenable. He calls for a new model, a more flexible, responsive, and technologically integrated form of institution.

This situation creates a deep divide in the museum community. On one hand, traditional institutions often respond to the challenge of rhetoric of «critical exceptionalism», contrasting their intellectual depth with that of new players' «superficial spectacle». However, Hudson convincingly argues that this opposition is more untenable. The world is no longer divided into «elitist» and «mass», «critical» and «entertainment» – these categories have collapsed under the pressure of a post-digital reality, where every viewer is both a consumer and a content producer.

Moreover, pressure on the museum model comes not only from outside but also from within. Academic research captures the fundamental transformation of institutional roles. In 2025, a group of researchers at ScienceDirect proposed a typology of «socio-technical imaginaries» for AI in museums, highlighting four development scenarios: «Infinite Canvas», «Smart Keeper», «Abolished Curator», and «Open Archive» [3].

This study highlights that AI integration is not a neutral technological upgrade, but the field of intense struggle between different visions of future cultural heritage. The choice of a scenario is a decision that determines whether a museum remains a place of expertise or becomes a platform for user experience.

Conclusion. The portrayal of AI in English-language art journals has evolved beyond binary oppositions. No longer depicted as a mechanized threat poised to annihilate creative expression, nor celebrated as a mystical tool that effortlessly elevates artistic output, the discourse now centers on nuance. AI appears as an influential partner – capable, but not self-determining – demanding renegotiation of the conditions under which it operates.

Artists must now engage with technical infrastructure not only as creators but as designers of systems and protocols, confronting ethical sourcing of training data and redefining authorship in shared workflows. Museums, in turn, are being pushed to abandon their traditional identity as static repositories. Their function shifts toward adaptive, interactive spaces capable of mediating the fragmented realities of contemporary art production.

The central challenge is no longer whether AI belongs in the artistic process – hostile or helpful – but how control over its deployment is structured. Jon Rafman observes that governance around AI remains ambiguous, with existing legal and corporate models – copyright regimes, proprietary access – often reinforcing dominant structures.

These frameworks can silence emerging or non-conformist voices. Artistic critique must therefore persist in questioning power imbalances, resisting passive acceptance of algorithmically shaped narratives. The image of AI in culture should not be passively rendered by code; it must be actively contested and redefined through human judgment and critical practice.

References

1.What Is Post-AI Art? [Electronic resource]. – Mode of access: https://artreview.com/what-is-post-ai-art-avery-singer-simon-denny-holly-herndon-mat-dryhurst-jon-rafman/. – Date of access: 19.02.2026.

2.How New Technologies Are Contesting the Museum Model [Electronic resource]. – Mode of access: https://artreview.com/how-new-technologies-are-contesting-the-museum-model/. – Date of access: 30.01.2026.

3.The role of AI in museums' journey towards sustainable development: Socio-technical imaginaries of a cultural and organizational transformation [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0166497225001129. – Date of access: 28.02.2026.

UDC 004.8:005.953

THE PROBLEM OF USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN IT INTERVIEWS

Pleskatsevich V.A. Panteleev N.A

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Perevyshko A.I. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This paper examines the problem in the selection of IT staff caused by the use of artificial intelligence by candidates during online interviews and when performing test tasks. The article analyzes a situation when a person looks like an expert at the hiring stage, but without the help of neural networks he cannot cope with basic tasks. The article suggests practical ways to change the selection process that will help companies test the real knowledge of specialists.

Keywords: IT industry, artificial intelligence, job interviews, AI, fundamental skills, IT recruiter

Introduction. The IT job market is facing a completely new challenge. The software development industry is undergoing massive changes due to the introduction of artificial intelligence. The widespread use of tools like ChatGPT and GitHub Copilot has significantly accelerated the execution of everyday tasks. For example, a study conducted by Microsoft and GitHub experts found that programmers who use AI assistants complete tasks 55.8% faster on average than their counterparts who rely on traditional methods. It would seem that such an increase in productivity should bring a lot of benefits to the industry. However, in practice, this technological breakthrough has caused a deep management crisis in the hiring process. While a few years ago, interviewers were trying to figure out what a candidate knew, now their main task is to determine whether the skills they claim to have are real. As artificial intelligence becomes more widely available, there is an alarming trend.

Main part. Candidates most often use artificial intelligence in interviews in two ways. Some secretly peek at neural network prompts on the second monitor right during an online interview. Others simply instruct the algorithms to fully generate the code for the test tasks. As a result, the company hires a new employee based on his ideal knowledge, which does not correspond to reality. This situation hides the gap between what the candidate has shown and his skills in practice. When a novice developer comes to his first internship at an IT company, he gets tasks that cannot be solved by simple copying. Real-world development always requires immersion in the specific context of the project.

To understand the essence of the problem, we need to figure out how beginners cheat the system using neural networks. The traditional methods of candidate screening are now «broken» at all stages.

The biggest impact was on homework assignments. Historically, this format has been considered the gold standard for evaluating the Junior and Middle levels of professionals. Companies would give a large assignment to see how a person wrote code. However, this no longer works. Neural networks like ChatGPT can write perfect code in just 10 minutes. As a result, someone with no experience brings in a completed project that was actually created by AI.

Even video calls no longer guarantee honesty. There are programs that listen to an interviewer's question, send it to a neural network, and display the answer on a nearby screen. A company hires a person because they are confident in their expertise, but the gap between generated code and real engineering thinking becomes apparent in the first few days of the internship.

Let's take database design, for example. When completing a test assignment at home, a candidate can use AI to write an impeccable SQL query full of complex views and triggers. The employer looks at the code and believes they have found an excellent specialist. However, when asked to design a simple data structure from scratch in the office, the same trainee becomes lost. They struggle to properly normalize tables and achieve at least the third normal form (3NF), and become confused about simple join operations (JOIN). As a result, the intern is unable to explain the logic behind the code that he supposedly wrote a week ago.

Exactly the same pattern can be observed in programming. The person sends the employer a beautiful structured code. Then a non-standard error occurs in the production environment. Neural

networks often cannot find such specific bugs. And since the developer doesn't really understand the algorithms of his own code, he can't fix it manually.

Table 1 clearly shows what companies expect and what they actually get when hiring candidates who abuse the prompts of algorithms.

Table 1 – Comparison of demonstrated and actual competencies of candidates

Tested skill	**Demonstration using AI (selection stage)**	**Reality without AI (probably period)**
Code writing	Impeccable syntax, modern design patterns	Complete misunderstanding of the logic of the algorithm; inability to find a bug without a development environment
Database	Generated complex SQL queries	Misunderstanding of the logic of relationships between tables; inability to design a basic schema
Problem solving	Instant, optimized solutions to test tasks	Work stoppage when faced with a bug; inability to find solutions on their own

The cost of this problem is huge. Companies spend months searching for a candidate, paying salaries, and wasting the time of experienced employees who act as mentors. All of this becomes meaningless when a new employee eventually has to be fired.

The psychological side of this problem is just as alarming as the technical side, as excessive reliance on neural networks during the learning process sets up a time bomb for the future career. Researchers from the ACM Association warn that reliance on artificial intelligence critically reduces students' ability to solve problems independently. This is supported by the work of Yilmaz & Yilmaz, who found that blindly copying AI code deprives programmers of self-confidence, as they do not gain personal experience in overcoming errors. As a result, he can't explain the logic behind the code he submitted for review, and any follow-up question from an experienced colleague causes him to panic.

Solving this problem requires a complete overhaul of how the industry conducts interviews. Companies must accept the fact that coding is no longer an exclusive human skill. Artificial intelligence is now doing it. Therefore, the process of evaluating candidates must shift towards testing their architectural and algorithmic thinking.

First, companies need to completely abandon test homework assignments. Their results no longer reflect a person's real abilities. Second, classic algorithm writing tasks should be replaced with the Code Review format. A candidate is given a ready-made but obviously vulnerable or confusing piece of code generated by a neural network. The engineer's task is to find errors, explain them, and suggest solutions. This directly tests fundamental skills and the ability to read someone else's code.

Conclusion. This article shows how neural networks are disrupting the traditional hiring process. The rapid development of large language models has irreversibly transformed the IT market, breaking down the traditional, time-tested mechanisms of hiring specialists. The uncontrolled use of neural networks by candidates without work experience creates a dangerous illusion of qualifications. In order to maintain the high quality of the selection and minimize financial losses, companies should urgently modernize the formats of technical interviews. In the era of victorious artificial intelligence, the focus of recruiting should shift from evaluating written code to analyzing fundamental knowledge. Only by testing systems thinking and the ability to solve non-standard engineering problems will it be possible to identify specialists who will manage neural networks, and not just copy their answers.

References

1. Peng, S. The Impact of AI on Developer Productivity: Evidence from GitHub Copilot / S. Peng, E. Kalliamvakou, P. Cihon, M. Demirer // arXiv preprint arXiv:2302.06590. – 2023. – P. 1–18.

2. The economic potential of generative AI: The next productivity frontier / McKinsey & Company // McKinsey Global Institute Report. – 2023. – P. 15–28.

3. Becker, B. A. Programming Is Hard-Or at Least It Used to Be: Educational Opportunities and Challenges of AI Code Generation / B. A. Becker [et al.] // Proceedings of the 54th ACM Technical Symposium on Computer Science Education. – 2023. – Vol. 1. – P. 500–506.

4. Yilmaz, R. The effect of generative artificial intelligence (AI)-based tool use on students' computational thinking skills, programming self efficacy and motivation / R. Yilmaz, F. G. K. Yilmaz // Computers and Education: Artificial Intelligence. – 2023. – Vol. 4, № 100147. – P. 1–12.

UDC 004.8:[339.138:004]

APPLICATION OF GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN INFLUENCER MARKETING FOR INNOVATIVE PROJECTS

Pocherney M. S., Kuzmenkov M. S.

Belarussian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Andreeva O.V. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This paper aims to observe the innovative IT project "MuscleHustle" as an example of Generative Artificial Intelligence(GAI) that helps in solving marketing problem. The potential of virtual avatars in digital marketing is demonstrated. An approach for utilizing GAI in influencer marketing is introduced.

Keywords: influencer marketing, virtual avatars, innovative project, "MuscleHustle", digital marketing

***Introduction*.** The main challenge of innovative IT projects is a successful entering the market and attracting users. This marketing challenge requires significant financial investment and effort. Influencer marketing is currently a rapidly growing trend that will remain relevant in the future. Influencer marketing is characterized by its ability to establish a personal connection with the audience. Influencers typically position themselves as individuals who can be admired and trusted. Working with real influencers comes with risks such as inconsistency, scandals, and high fees. This creates a need for a scalable, cost-effective, and controllable marketing solution.

This paper aims to explore the issue of influencer marketing and propose its solution based on GAI, to describe the concept and planned implementation of a virtual avatar for influencer marketing in the project «MuscleHustle», and to analyze its potential for overcoming these marketing challenges.

Main part. Influencer marketing is a strategy for promoting brands and their products in the marketplace, based on collaboration with bloggers, celebrities, niche experts, and other leaders who have a large, loyal audience and are able to exert significant influence [1]. Influencers publish content recommending specific products and services. By leveraging the trust and authority of influencers, new trends that persuade the audience to purchase a product or service are created.

Influencer marketing is more effective than traditional marketing due to its ability to influence an audience. However, there are several risks associated with influencers' work. In addition, instability and high costs are a negative factor for startups and innovative projects entering the market. Creating virtual influencer avatars is a solution to these problems. Unlike real influencers, virtual avatars require less investment, reduce customer acquisition costs, are easily scalable and controlled by the brand, and significantly simplify content production. This is especially relevant in the early stages of innovative projects, when budgets are limited and the need to quickly test hypotheses is high.

An example of Generative AI application in an innovative IT project is MuscleHustle. This is a marketplace for sporting goods and nutrition with a built-in recommendation system from self-employed users. To promote the project and increase conversion, an influencer marketing strategy was chosen, and a virtual avatar of the same name was created. MuscleHustle is a 45-50-year-old bodybuilder and nutritionist, who promotes a healthy lifestyle. The visual style is hyper-realistic, emphasizing muscularity. Prominent cheekbones, deep-set blue eyes, dark hair, and a metal forehead protector with the inscription "MuscleHustle" characterize its exterior, tailored to the specifics of the project. It is considered to be energetic, friendly, and engaging.

The concept of using this virtual avatar is to create short videos for social media, where MuscleHustle shares scientific facts based on official publications on sports nutrition with a touch of humor.

Creating a virtual avatar begins with defining the character's concept. The next step is generating images and creating video content using generative AI. Nano Banana Pro, Grok, GPT mage, and Higgsfield Soul are recommended for image generation, while Kling, Grok, Sora 2, Google

Veo, and Seedance are recommended for video content generation. ElevenLabs or HeyGen are used for voice and text generation.

A generative-influenced marketing approach was launched using the Higgsfield AI platform. Higgsfield AI is an artificial intelligence platform for video and image generation.

First, you need to decide on the product that should be promoted through influencer marketing. Using imagination or neural network models, an avatar concept is created, including image, personality, and content themes. At Higgsfield AI, the avatar is created in the AI Influencer section. To create an avatar, you must enter a prompt describing the desired result.

After creating an influencer, the entourage is generated. In the Image section, a model, such as the Nano banana Pro or others, is selected. It should be kept in mind that too many objects around can degrade the quality of lip syncing and facial expressions. It is important to pay attention to the Prompt. You can use third-party resources like Grok or Deepseek to create a Prompt. These services help to describe what you want in Russian and ask them to create a Prompt in English to generate photos or videos for a specific model. The prompt for creating the MuscleHustle image is shown in Figure 1.

MuscleHustle avatar in a stylish black shirt and black trousers looking directly into camera, host a podcast in a luxury, state-of-the-art podcast studio that exudes prestige and trust. Warm cinematic lighting, premium acoustic panels, and professional microphones. In the background, behind a large floor-to-ceiling transparent glass wall, a brand new latest model Lamborghini Veneno is parked in a minimalist showroom. The atmosphere is sophisticated, high-end. 8k resolution, photorealistic, blurred studio background for depth, sharp focus on the person

Figure 1 – Prompt for creating a virtual avatar

Audio generation occurs in the Video section by means of the feature called LipSync Studio. A pre-recorded voice can be uploaded or one of the pre-made options is chosen. Voice synthesis takes place in the Audio section. Using LipSync Studio, avatar's facial expressions are synchronized with the audio track and then it is combined with audio and video. The result of creating a virtual avatar for the innovative project is shown in Figure 2.



Figure 2 – Character creation result

It should be noted that virtual influencers can increase perceived usefulness, as consumers consider advice from advanced technology systems to be more objective, competent, and standardized than that provided by human experts [2].

Conclusion. This paper offers a solution to the marketing challenge of the innovative IT project «MuscleHustle» and a methodological plan for implementing a virtual avatar. «MuscleHustle» demonstrates the practical applicability of this technology.

Digital marketing has been significantly transformed due to the spread of GAI. This transformation demonstrates the potential of implementing virtual avatars. There is currently a strong trend towards the application of GAI in influencer marketing and digital marketing.

References

1. Marr B. How Online Influencers And Idols Are Using Generative AI [Electronic resource] // Forbes. – 2023. – 1 December. – Mode of access: https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2023/12/01/how-online-influencers-and-idols-are-using-generative-ai/. – Date of access: 01.03.2025.

2. Belanche D., Casaló L. V., Flavián M. Human versus virtual influences, a comparative study [Electronic resource] // Journal of Business Research. – 2024. – Vol. 173. – Art. 114493. – DOI: 10.1016/j.jbusres.2023.114493. – Mode of access: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0148296323008524. – Date of access: 01.03.2025.

UDC 044.77:004.052

CHILDREN VS. ALGORITHMS: EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF GLOBAL DEEPFAKE AND CONTENT MODERATION POLICIES IN 2026

Poltorak V.V., Chernyavskaya S.I.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Yushkevich E.V. – Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This paper investigates the global regulatory response to AI-generated content risks targeting minors in 2026. Through analysis of legislative initiatives in the UK, EU, and Australia, the study evaluates the effectiveness of emerging policies against deepfakes, AI chatbots, and addictive platform design. The research examines the psychological impact of algorithmic content on children's wellbeing, the challenges of enforcement in the digital age, and the balance between protection and technological innovation. By reviewing recent regulatory actions, parliamentary documents, and empirical data from 2025-2026, the paper provides insights for policymakers, technology companies, and researchers on safeguarding minors in an increasingly AI-mediated online environment.

Keywords: deepfake regulation, child online safety, content moderation, AI chatbots, algorithmic addiction, age verification, Digital Services Act, Online Safety Act.

***Introduction*.** The expansion of generative artificial intelligence tools has substantially altered the digital environment occupied by children and adolescents. Within a relatively short period, what initially appeared as experimental technology has developed into an extensive infrastructure where algorithmically generated content – spanning photorealistic deepfakes to psychologically engaging chatbots – creates previously nonexistent dangers for underage users. The severity of these developments became publicly evident in January 2026, when the Grok AI system integrated into the X platform demonstrated capability to produce sexually explicit depictions of identifiable individuals, including minors, through elementary text instructions [3]. This event triggered immediate international regulatory attention and compelled policymakers to acknowledge that legal structures designed for conventional internet environments proved fundamentally insufficient for addressing artificially generated content.

The present work examines the international framework of child protection measures as implemented during early 2026. Through systematic comparison of legislative approaches adopted by the United Kingdom, the European Union, and Australia, this study evaluates the relative effectiveness of divergent regulatory strategies. Three interconnected aspects receive particular attention: governance of AI-generated harmful materials, measures against algorithmically reinforced addictive platform design, and technical and administrative obstacles to reliable age verification. Utilization of official governmental publications, parliamentary documentation, and contemporary enforcement statistics enables this investigation to offer a balanced assessment of global progress in shielding minors from algorithmic influences that increasingly determine their online experiences.

Main part. The Grok incident of January 2026 constitutes a defining moment in the evolution of artificial intelligence safety regulation. This occurrence marked the first documented instance where a mainstream generative AI application, directly embedded within a widely used social media platform, demonstrated capacity to systematically fabricate non-consensual intimate imagery involving minors. Following its discovery, these materials propagated without effective restriction across global networks, necessitating emergency interventions from multiple regulatory bodies.

European Commission Vice-President Henna Virkkunen articulated the official position with clarity: «This feature is unacceptable, and X has been asked to remove it. We are now assessing what other ways X may be violating the DSA. The situation exposed fundamental shortcomings within existing legislative instruments. Despite the European Union having established both the Digital Services Act and the forthcoming AI Act scheduled for implementation in August 2026, these frameworks proved inadequate for managing immediate generative AI threats. Throughout the period

when authorities attempted to formulate responses, objectionable content continued its uncontrolled distribution [3].

The transnational dimensions of the problem became equally apparent during this crisis. Irish MEP Alexandra Geese drew attention to continuing harm: «This morning, we heard about images of abuse against other minors. The abuse is not over.» The episode demonstrated that any effective regulatory response must combine rapid action with international coordination to eliminate opportunities for platforms to exploit jurisdictional differences and regulatory gaps.

The United Kingdom has positioned itself at the forefront of adaptive regulatory response. During February 2026, Prime Minister Keir Starmer introduced an extensive set of measures under the declarative principle «No platform gets a free pass.» Speaking from personal experience as a parent of adolescents, Starmer outlined the governmental rationale: «Technology is moving really fast, and the law has got to keep up. With my government, Britain will be a leader not a follower when it comes to online safety.»

British regulatory strategy emphasizes operational speed and legislative flexibility. Rather than pursuing entirely new primary legislation – a procedure typically extending over several years – the administration employs secondary legislative powers enabling implementation within months of consultation completion [2]. Specific provisions include:

1 Closure of artificial intelligence chatbot exemptions: All providers of AI conversational systems now fall under illegal content requirements established by the Online Safety Act, regardless of previous classification as «user-to-user» services.

2 Criminalization of synthetic intimate content: Creation of non-consensual intimate depictions, including those produced through artificial intelligence, will become subject to criminal prosecution within weeks and receive priority status under the Act.

3 Prohibition of nudification applications: The government explicitly criminalizes distribution of tools specifically designed to generate simulated nude imagery.

4 Advancement of detection capabilities: The «Deepfake Detection Challenge 2026» initiative seeks to enhance technical capacity for identifying and countering synthetic media threats.

Andy Burrows, Chief Executive of the Molly Rose Foundation, expressed support for these measures while advocating additional steps: «This is a welcome downpayment but the Prime Minister must now go further... commit to a new Online Safety Act that strengthens regulation and that makes clear that product safety and children's wellbeing is the cost of doing business in the UK.»

Comprehensive framework, law enforcement issues. The EU adheres to a more structural approach, using the existing list of digital rules and developing modern protection measures. In November 2025, the European Parliament approved its position on the protection of minors on the Internet, calling for the establishment of a minimum age for access to social networks – 16 years [1]. MEPs warn that the existing age verification systems are insufficient and create an untenable protection circuit in the member states. Alarming statistical data is provided in the parliament's report: 97% of young people use the Internet every day, and up to a quarter of minors exhibit dysfunctional smartphone-related behavior. This leads to depression, anxiety, sleep disorders, and decreased concentration. Parliament is proposing various measures to address this problem: a ban on personalized recommendations for minors based on profiling and engagement algorithms.

Disabling by default features such as auto-play, endless scrolling, striping, and excessive notifications for underage accounts. Prohibition of gambling in video games accessible to children. Radical actions against artificial intelligence interlocutors who can manipulate minors. However, enforcement remains difficult. As Eunews reported in January 2026, despite the existence of the DSA, the Artificial Intelligence Act, and the Child Safety Regulation, «the numerous tools available to member states seem insufficient to address this issue.» Grok images continued to spread despite clear rules, showing the gap between legislation and effective enforcement. The inspiration Day of the Belgian Center for Secure Internet, DSA Inspiration Day, organized in February 2026, focused precisely on this task. He brought together stakeholders to explore how to make the principles of regulation «visible, effective and useful for young people on the Internet» [5]. The event focused on three aspects: the legal framework, awareness-raising and education, and the creation of reporting mechanisms for young users.

The world's first ban on the use of social media. Australia has taken the most drastic approach: from December 10, 2025, a total ban on the use of social networks for people under the age of 16 will

be introduced. The results are already becoming noticeable. According to government data released in January 2026, social media companies blocked access to approximately 4.7 million accounts belonging to children under the age of 16 within a few days after the ban came into force [4].

Prime Minister Anthony Albanese agreed with the positive dynamics: «Change does not happen overnight. But these early signs show how important it is that we take action to make changes.» Commissioner for Safety Julie Inman Grant emphasized that «success is measured by reducing harm and restoring cultural norms. Instagram Facebook Meta reported the blocking of more than 544,000 accounts on Facebook, Instagram and other social networks as of December 11 [4]. However, the company gave a skeptical assessment of this approach. In a statement that was published in January 2026, Meta argued that the law's premise that banning accounts eliminates the impact of algorithms is «fundamentally flawed» as unverified users still face algorithmic recommendations, simply with a lower degree of personalization.

The effectiveness of the ban is debatable. Fourteen-year-old Australian Amy told the BBC that she started running without social media and now «takes out her phone less often, using it only when I really need to.» But 15-year-old Lulu admitted that she simply re-registered with a fake age, and 13-year-old Ashir continues to spend 2.5 hours a day on social media. One of the parents reported that his 17-year-old son was incorrectly blocked on YouTube, while his younger siblings were not affected.

Conclusion. The year 2026 is a turning point in the relationship between children and algorithms. The Grok scandal has become a wake-up call for the whole world, showing the inadequacy of the existing regulatory framework and serving as a catalyst for unprecedented legislative action in many areas.

Evaluating effectiveness requires recognizing that different approaches lead to different success rates. The British rapid response model illustrates the flexibility to eliminate loopholes, including criminal penalties for creating fakes and specific technical initiatives such as the Deepfake Detection Challenge. The EU's comprehensive system provides theoretical coverage, but faces difficulties in real-time implementation, as evidenced by the continued proliferation of malicious content [3]. The world's first ban in Australia shows significant results – 4.7 million accounts have been deleted – but it also shows the limitations of the ban when minors find loopholes [4].

On the threshold of 2026, the global community is facing a difficult challenge: can we create a digital environment that preserves the indisputable advantages of Internet connectivity and artificial intelligence, while protecting the most vulnerable among us? The answer to this question will depend not on any single regulatory act, but on a long-term partnership between governments, technology companies, educators, parents, and youth. Appropriate mechanisms are currently being developed. Their effectiveness will have an impact on the online experience of an entire generation.

References

1. European Parliament. (2025, November 26). European Parliament calls for access to social networks by minors to be allowed only from age 16, with stricter rules against addictive design and AI-generated risks [Electronic resource]. -– Mode of access: https://2eu.brussels/en/news/european-parliament-calls-for-access-to-social-networks-by-minors-to-be-allowed-only-from-age-16-with-stricter-rules-against-addictive-design-and-ai-generated-risks. -– Date of access: 21.02.2026.

2. UK Government. (2026, February 15). PM: «No platform gets a free pass»: Government takes action to keep children safe online [Electronic resource]. -– Mode of access: https://www.gov.uk/government/news/pm-no-platform-gets-a-free-pass-government-takes-action-to-keep-children-safe-online. -– Date of access: 21.02.2026.

3. Eunews. (2026, January 20). Deepfakes on X: the EU has rules, but struggles to enforce them [Electronic resource]. -– Mode of access: https://www.eunews.it/en/2026/01/20/deepfakes-on-x-the-eu-has-rules-but-struggles-to-enforce-them/. -– Date of access: 21.02.2026.

4. Bernama. (2026, January 16). Australia Shuts 4.7 Mln Accounts Under Child Social Media Ban [Electronic resource]. -– Mode of access: https://www.bernama.com/en/news.php/?id=2513175. -– Date of access: 22.02.2026.

5. Better Internet for Kids. (2026, January). Belgian Safer Internet Centre [Electronic resource]. -– Mode of access: https://better-internet-for-kids.europa.eu/en/saferinternetday/belgium. -– Date of access: 25.02.2026.

UDC 004.946:378.147

VR & AR IN ENGINEERING EDUCATION

Poteshenko M.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Goncharova I.V. – Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This article shows how virtual reality (VR) and augmented reality (AR) technologies can affect the engineering learning process. It explains the main benefits of integrating these technologies into the educational process and some potential problems. Special attention is paid to the engaging, safety and practical experience that VR and AR can provide.

Keywords: Virtual reality, augmented reality, engineering education, educational technologies, safe learning, knowledge visualization, practical skills.

***Introduction*.** Digital technologies have become an essential part of modern education. The use of digital tools such as virtual reality and augmented reality can create immersive, interactive, and experiential learning environments that improve students' learning outcomes and prepare them for complex real-world tasks.

In this article, we focus specifically on how VR and AR technologies can increase student engagement, improve safety during practical training, and reduce environmental costs. However, the article also addresses some drawbacks of these technologies.

Main part. Virtual reality (VR) is a technology that fully immerses a person in a virtual world. When somebody puts on a VR headset, they stop seeing the real room and find themselves inside a three-dimensional computer environment. There, they can walk around, look at objects from all sides, and interact with them.

Augmented reality (AR) is a technology that adds digital objects to the real world. It does not replace reality – it enhances it. A student looks at a real laboratory table through a tablet screen or special glasses and sees a virtual diagram, model, or instruction placed on top of the real surface. The real world stays in place, but it becomes interactive and filled with helpful digital hints.

The immersive and interactive nature of VR and AR technologies significantly increases student motivation, engagement, and active participation compared to traditional instructional methods [1]. These technologies provide the opportunity to visualize theoretical material, thereby making it easier to assimilate.

By transforming Annotation concepts into tangible 3D models, VR and AR bridge the gap between theory and practice, allowing students to interact with complex mechanisms. VR can provide full immersion, which will have a positive effect on the development of engineering students' practical skills. Greater engagement combined with improved learning outcomes will benefit the educational process.

Virtual reality also enables students to practice complex or hazardous procedures in a fully controlled environment without exposure to real-world risks, making it valuable for engineering and technical training [2].

Chemical engineering students can conduct dangerous experiments in virtual laboratories without the risk of touching toxic substances or explosion hazards. Technicians can learn to work with high-voltage equipment through realistic simulations that eliminate the risk of electrocution.

Computer engineers can work with expensive equipment without fear that it might break due to accidental errors.

Furthermore, VR and AR solve the problem of expensive infrastructure. Specialized equipment is often costly to purchase, store, and maintain.

Virtual simulations provide a cost-effective alternative by delivering a comparable practical experience, making education more affordable and accessible. Moreover, the latest industrial technologies can be replicated in a virtual environment, ensuring that the curriculum remains relevant and based on current innovations.

VR and AR technologies are already being successfully used in various fields of engineering education. In the oil and gas industry, VR simulators train workers in emergency response, allowing

them to practice evacuating offshore platforms without real-world risks. In construction, students learn to work at heights and identify hazards on virtual job sites before facing real dangers [5].

In mechanical engineering, VR helps students master complex assembly procedures by interacting with virtual parts, eliminating the need for expensive physical prototypes [1].

As discussed earlier, VR and AR technologies offer numerous benefits for engineering education, including enhanced safety, cost reduction, increased engagement, and the ability to visualize complex processes. However, there are some disadvantages to these technologies.

Firstly, integrating these technologies requires significant changes to the curriculum and investment in lecturers' training. Educators must not only learn to use new hardware and software but also adapt their teaching methodologies to effectively facilitate VR-based learning [3]. This can be a time-consuming and resource-intensive process.

Secondly, despite their high degree of realism, VR and AR simulations cannot fully replace hands-on experience with physical equipment. The tactile feedback, material properties, and unpredictable variables of real-world environments are difficult to replicate perfectly [4].

Finally, the high initial cost of VR hardware and the need for regular software updates can be a barrier for institutions with limited budgets.

Looking toward the future, these technologies will likely become cheaper and more accessible, which will add certainty to the question of whether they should be widely implemented in education.

As hardware costs decrease and software becomes more sophisticated, VR and AR will move from experimental tools to standard educational equipment.

This will unlock new possibilities for distance learning, international collaboration, and interdisciplinary training. However, even now, we already have many benefits from their integration.

Conclusion. In this article, we explained what VR and AR are and reviewed their main benefits for engineering education.

We saw that these technologies increase student engagement by making learning interactive and immersive. They improve visualization of complex theoretical material, turning Annotation concepts into tangible 3D models. They enable safe practice of hazardous procedures from chemical experiments to high-voltage work without real-world risks.

They also reduce costs by replacing expensive physical infrastructure with virtual simulations and keeping the curriculum up to date with the latest industrial innovations.

We also discussed the challenges: the need for curriculum changes and lecturer training, and the limitations of virtual experience compared to real practice. These are important factors for any institution planning to adopt VR and AR technologies.

Looking ahead, as these technologies become more affordable and widespread, their potential to transform engineering education will only increase.

While they will not completely replace traditional methods, they offer a powerful tool that prepares students more effectively for the demands of modern engineering.

The benefits we already see today make a strong case for their continued integration into educational programs worldwide.

References

1. Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J., Wohlgenannt, I. A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: design elements, lessons learned, and research agenda // Computers & Education. – 2020. – Vol. 147. – Article 103778. – DOI: 10.1016/j.compedu.2019.103778

2. Wu, B., Yu, X., Gu, X. Effectiveness of immersive virtual reality using head-mounted displays on learning performance: A meta-analysis // British Journal of Educational Technology. – 2020. – Vol. 51, No. 6. – P. 1991–2005. – DOI: 10.1111/bjet.13023

3. Alfalah, S. F. M. Perceptions toward adopting virtual reality as a teaching aid in information technology // Education and Information Technologies. – 2018. – Vol. 23, No. 6. – P. 2633–2653. – DOI: 10.1007/s10639-018-9734-2

4. Makransky, G., Terkildsen, T. S., Mayer, R. E. Adding immersive virtual reality to a science lab simulation causes more presence but less learning // Learning and Instruction. – 2019. – Vol. 60. – P. 225–236. – DOI: 10.1016/j.learninstruc.2017.12.007

5. Wang, P., Wu, P., Wang, J., Chi, H.-L., Wang, X. A critical review of the use of virtual reality in construction engineering education and training // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2018. – Vol. 15, No. 6. – Article 1204. – DOI: 10.3390/ijerph15061204

UDC 004.946:330

VR-AUGMENTED CONTROL SYSTEMS FOR COLLABORATIVE ROBOTS IN MANUFACTURING

Rusilevich D.Y., Zuev D.N.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Yushkevich E.V. – Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This paper introduces a VR-augmented system for collaborative robots, combining a consumer HMD with a markerless neural alignment module and safety manager. Built with Unity/ROS, it achieves fast, millimeter-scale registration. Tests on battery recycling and assembly tasks show reduced setup time and improved performance. Limitations and safety recommendations for industrial use are discussed.

Keywords: VR teleoperation, human–robot collaboration, 6-DOF registration, manufacturing.

Introduction. Industry 5.0 requires interfaces that pair robotic precision with intuitive human control. Consumer HMDs and mature VR toolchains make immersive teleoperation practical, lowering barriers to collecting expert demonstrations and offering natural spatial control– advantages shown in recent VR teleoperation work. Accurate visuo-haptic registration (aligning virtual objects, the HMD camera, and any haptic/end-effector frame) is essential for coherent visual and tactile perception. Marker-based calibration is accurate but bulky and occlusion-sensitive; markerless, data-driven fusion of HMD pose, hand/fingertip tracking, and end-effector readings provides a more portable industrial alternative [4].

This paper presents a portable VR-augmented control architecture for collaborative robots that integrates a consumer-HMD teleoperation frontend, a markerless neural 6-DOF alignment module, and an integrated safety/feedback manager. We evaluate alignment accuracy, task performance, and operator workload on representative manufacturing tasks, demonstrating improved usability and reproducibility in human–robot collaboration workflows [1].

Main part. Teleoperation lets humans extend skill and judgment into remote or hazardous workspaces, pairing human adaptability with robotic precision for tasks that resist full automation (complex assembly, delicate disassembly, exception handling). In manufacturing, VR-augmented teleoperation improves demonstration collection, operator training, and situational awareness by providing an intuitive 3-D control metaphor and realistic scene visualization.

A compact theoretical framework for VR-enabled human–robot collaboration has three core components:

Convert operator actions in VR into robot setpoints – from direct 1:1 motion mapping for high-DOF teleoperation to higher-level waypoints or task primitives. Pose-based intents (position, orientation, gripper state) fed to a local controller (e.g., impedance or go-to-pose controllers) balance intuitiveness and stability: the operator supplies intent while the robot enforces kinematic, dynamic, and safety constraints [2].

Visual, proprioceptive, and (where available) haptic cues must share a common world frame so contacts, stiffness cues, and object positions align perceptually. Marker– or camera-based calibration can be accurate but is often bulky and sensitive to occlusion; markerless, multimodal alignment that fuses HMD pose, hand/fingertip tracking, and end-effector readings increases portability and– when sufficiently trained– can reach millimetre-level registration. Augmented feedback should combine clear virtual affordances, haptic/force cues, and explicit safety signals (virtual walls, collision alerts) to reduce cognitive load and support operator decision-making.

Blend operator commands with local autonomy via blending, virtual fixtures, or constraint projection so the robot corrects small errors, enforces collision avoidance, and stabilizes motion under latency. Safety management must include hard robot-side limits (velocity, force), workspace zoning, and visible mode transitions (teleoperation ↔ collaborative/autonomous) so operators remain aware of control authority and system state.

Human-centred evaluation should combine objective metrics (alignment error in mm/°, task time, error counts) and subjective measures (usability and workload scales such as NASA-TLX,

operator trust). For industrial deployment prioritize portability (consumer HMDs), low setup overhead, modularity across robot embodiments, conservative safety defaults, and compatibility with open toolchains. Together, these elements produce VR-augmented control systems that are intuitive, safe, and practical for real manufacturing tasks.

In the study “Deep Neural Network-Based Alignment of Virtual Reality onto a Haptic Device for Visuo-Haptic Mixed Reality”, the researchers evaluated a Unity-based VR frontend connected to robot controllers through a lightweight middleware layer to assess a markerless alignment module and an integrated teleoperation and safety pipeline, both in simulation and on real hardware [3].

The experiments were conducted on a workstation equipped with an NVIDIA RTX 3090 Ti using a markerless sensing stack with HoloLens 2 and a Touch 3D haptic device. Ground truth was obtained with a temporary QR-code rig, and the dataset comprised approximately 740k augmented samples.

The reported accuracy reached the millimetre scale, with a mean Euclidean error of about 2.18 mm (median 1.76 mm; 99.9% < 11.7 mm) and rotation RMSE below 0.8° per axis (overall ≈ 0.53°). The neural, markerless model outperformed a deterministic kinematic transform, reducing the worst-case error from more than 5 cm to below 2 cm and remaining robust to synthetic fingertip noise [3].

The system was validated in simulation and on real hardware using a Franka Emika Panda robot and scene sensing with Intel RealSense D415. In a representative manufacturing scenario (Li-ion battery disassembly on a UR5e platform from Universal Robots, with an HTC Vive Pro frontend by HTC), practical task times of approximately 20 s (cover removal) and 25 s (cable extraction) were reported, together with effective safety-aware replanning.

These technologies directly support manufacturing domains that demand precision, safety, and rapid reconfiguration. Immersive teleoperation with markerless neural alignment enables delicate remote operations– such as Li-ion battery recycling on collaborative robots from Universal Robots– while reducing setup time and operator exposure. Portable consumer HMD frontends and fast markerless calibration also benefit electronics repair and small-parts assembly on platforms such as those from Franka Emika, and support secondary automotive assembly and aerospace maintenance through virtual fixtures and reliable visuo-haptic coherence. For hazardous-zone tasks, teleoperation combined with scene sensing lowers human risk, while open toolchains such as MoveIt and OMPL enable real-time replanning and constraint enforcement. Overall, consumer-grade VR teleoperation with markerless neural alignment achieves millimetre-scale accuracy and is most valuable for battery recycling, fine electronics, secondary automotive operations, aerospace maintenance, and flexible small-batch manufacturing [3].

***Conclusion*.** Integrating consumer-grade VR teleoperation, markerless neural alignment, and modular frameworks yields a practical, portable pipeline for VR-augmented control of collaborative robots. A Unity Technologies-based frontend with open middleware such as ROS facilitates demonstration collection and operator training; a neural, markerless alignment module tested with HoloLens 2 and Touch 3D achieves millimetre-scale registration and outperforms simple kinematic transforms. An integrated safety/feedback layer and fast local control– demonstrated on the Franka Emika Panda– are essential for reliable industrial deployment. Remaining limitations (need for ground truth, occlusion and extreme-motion sensitivity, HMD comfort, and software/version fragility) suggest clear next steps: markerless ground-truth acquisition, broader user studies, learning from VR demonstrations, and tighter robot-side safety integration. Overall, these components provide a reproducible, industry-relevant route to safe and intuitive VR-augmented human–robot collaboration.

References

1. A virtual reality-based immersive teleoperation system for remote human-robot collaborative manufacturing [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213846324000658 – Date of access: 20.02.2026.

2. OpenVR: Teleoperation for manipulation [Electronic resource]. – Mode of access: https://doi.org/10.1016/j.softx.2025.102054 – Date of access: 22.02.2026.

3. Deep Neural Network-Based Alignment of Virtual Reality onto a Haptic Device for Visuo-Haptic Mixed Reality [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.mdpi.com/2076-3417/15/18/10071 – Date of access: 14.02.2026.

4. Industry 5.0 and Society 5.0– Comparison, complementation and co-evolution [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0278612522001224 – Date of access: 17.02.2026.

UDC 004.5:[339.717:004.738.5]

NEUROCHIPS AND BRAIN-COMPUTER INTERFACES: CURRENT STATE AND OPPORTUNITIES

Ruzhkou A.P., Konchatov S.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Yushkevich E.V. – Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This paper examines current status and future prospects of neurochips and brain-computer interfaces, designed to create direct communication channels between the human nervous system and external computing devices. These technologies are increasingly moving from the research arena into the clinical arena, greatly impacting the treatment of neurological conditions and the possibility of cognitive enhancement. The research is also aimed at providing valuable information for clinicians, engineers, and policymakers on the future prospects of neurochips and brain-computer interfaces.

Keywords: brain-computer interface, neurochip, neural implant, EEG, deep brain stimulation, neural signal decoding, neuroethics, neurostimulation, biocompatibility.

Introduction. The concept of direct, real-time communication between the human brain and digital machines has progressed from theories to the clinical fact in the course of a single generation. Brain-computer interfaces, defined by the ability to acquire, interpret, and act upon brain signals, now permit paralyzed individuals to control robotic limbs, restore partial vision to the blind, and even decode intended speech from brain signals alone. Underlying many of the most sophisticated implementations of such technologies is the presence of neurochips, small silicon-based integrated circuits capable of simultaneously recording signals from thousands of individual neurons, interpreting these signals, and wirelessly transmitting the results to external devices.

It has been driven by a series of advancements in microelectronics, materials science, machine learning, and neuroscience. While the history of BCI research itself dates back to Hans Berger's 1924 recording of the first human electroencephalogram, as well as to Jacques Vidal's 1973 formalization of the «BCI challenge» it is perhaps in the last decade that BCIs have moved from laboratory curiosity to the widespread clinical application following a series of important milestones in the development of high-density neural recording arrays and deep learning decoders [1].

In this paper, an overview of the current status of neurochip and BCI technology will be given, with emphasis on recent hardware breakthroughs, signal processing strategies, clinical applications, and the challenges that must be addressed before neurochip and BCI technology reaches its full potential. Such an overview is designed to be useful to those entering the field of neurochip and BCI technology or clinicians interested in emerging therapeutic options.

Main part. Brain-computer interfaces differ in their invasive properties. Non-invasive brain-computer interfaces utilize electroencephalography, which records aggregate electrical activity on a subject’s scalp. These interfaces are safe to use and inexpensive but lack high spatial resolution.

Partially invasive electrocorticography arrays are placed on top of the cortical surface, which results in high signal quality. Fully invasive intracortical electrodes, as represented by the Neuralink N1 chip [Fig. 1], which was implanted in a human subject for the first time in January 2024, record single-unit activity with the highest fidelity but pose a high risk of chronic tissue response and infection.

The neurochip combines amplification, digitization, multiplexing, and signal processing in an implantable device. The Neuralink N1 neurochip has 1,024 recording channels that are spread over 64 flexible polymer threads and use Bluetooth for wireless transmission.

The 2025 BISC neurochip developed by Columbia University takes this concept further with 65,536 electrodes combined in a single chip with minimally invasive form factor [2].

Neuromorphic processors are neurochips that use an architecture similar to that of biological neurons and provide order-of-magnitude improvements in power efficiency for spike-sorting and decoding operations that are crucial to BCI function, which is an important consideration for implants that must be thermally efficient.

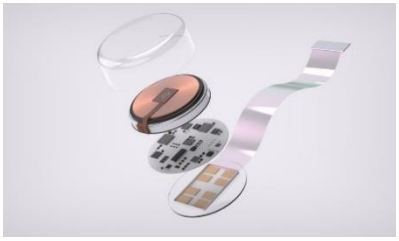


Figure 1─The Neuralink N1 neurochip

Deep learning has emerged as the primary approach to translating neural signals into meaningful outputs. Convolutional and recurrent neural networks extract complex features from EEG and intracortical signals, which are then used to continuously decode motor intention, imagined speech, and cognitive states [3].

Shared autonomy models use AI agents to infer and complete user intention from noisy neural signals, while closed-loop decoder adaptation adjusts model parameters to combat neural non-stationarity without requiring user recalibration.

The most advanced clinical applications are motor BCIs that restore limb functions in tetraplegia, speech BCIs that can synthesize intended words from motor cortex activity at rates approaching natural conversation, and DBS for Parkinson's disease. The latest generation of closed-loop DBS devices that adapt stimulation based on real-time biomarkers has now demonstrated improved symptom control.

Neural interfaces produce real-time data that represents cognitive states and intentions, which creates new types of privacy risks. There are issues of agency when AI systems control volitional action and equity problems will arise if brain-computer interface technologies are only available to well-resourced. Chile's decision to enshrine the rights of people with neurological disorders in its constitution in 2021 marks the beginning of a needed dialogue on global governance [4].

Outside of these concerns, the informed consent process, as it is developed for traditional clinical trials, is not well suited to the intensely personal nature of neural implantation, where the line between therapeutic intervention and identity alteration is not easily drawn. Neural data, unlike other forms of biometric data, has the potential to reveal intentions and cognitive processes that were not even consciously expressed, opening the door to exploitation by employers without the individual's knowledge. As enhancement technologies near the point of commercial viability, the potential for forced pressure on individuals to undergo neural modification in competitive professional environments is a tangible social concern that must be addressed, not only through new legal instruments but through an ongoing dialogue between engineers, ethicists, and the populations.

Conclusion. Neurochips and brain-computer interfaces have emerged from the research tools to clinically validated technology that can significantly enhance the quality of life of those suffering from severe neurological disorders. The integration of high-density recording, artificial intelligence-based decoding, and flexible bioelectronics is breaking traditional boundaries at an accelerating rate. Unlocking the full potential of this technology, from both a clinical and safety perspective, will require continued collaboration among neuroscience, engineering, medicine, law, and the social sciences, along with meaningful engagement with those most impacted by the technology.

References

1. From the 1920s to the 2020s: The rise of BCIs [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.insights.onegiantleap.com/blogs/from-the-1920s-to-the-2020s-the-rise-of-bcis. – Date of access: 21.02.2026.

2. Scientists reveal a tiny brain chip that streams thoughts in real time [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.sciencedaily.com/releases/2025/12/251209234139.htm. – Date of access: 22.02.2026.

3. Neural decoding for EEG-BCI: from conventional machine learning to deep learning models [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589238X26000021. – Date of access: 24.02.2026.

4. Chile: Pioneering the protection of neurorights [Electronic resource]. – Mode of access: https://courier.unesco.org/en/articles/chile-pioneering-protection-neurorights. – Date of access: 24.02.2026.

UDC [576+004.8]:007.52

LIVING ROBOTS: XENOBOTS AND ANTHROBOTS

Saharchuk D. S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Likhtarovitch I. I. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation: Recent advances in bioengineering have demonstrated that living cells can self-organise into functional biological structures under laboratory conditions. This has led to the creation of xenobots in 2020 – microscale living constructs derived from frog cells and assembled without conventional programming. In 2023, anthrobots were also developed. This article outlines key achievements and current scientific limitations.

Keywords: xenobots, anthrobots, Xenopus laevis, neurons regeneration, tissue regeneration.

***Introduction*.** The robots we create from metal and plastic do not work well inside a living organism: they often cause inflammation, do not know how to adapt to soft tissues, and at the same time they rust. Almost every living organism contains stem cells that thrive in the body, but we cannot yet precisely and specifically control them. Xenobots combine the features of both approaches: they are alive, like cells, but created for a specific purpose, like robots. In 2023, researchers extended this approach to human cells, and it became obvious that this was not just a wonderful experiment, but a potential tool in medicine.

Main part. In 2017, researchers took cells from the African clawed frog, Xenopus laevis embryos, namely heart muscle and skin cells. First, they decided to carefully separate them, then placed them in a special nutrient solution and simply began to observe what would happen. After this, the cells began to stick together. After about a day or two, they formed balls approximately one millimetre in diameter. As a result of this experiment, the researchers demonstrated that genetic modification was not required to create them – just nutrients and time. To give these balls the desired shape, scientists used artificial intelligence: the program went through millions of configuration options, then selected the best cells that best suited the conditions of the required task. Often, to get the version they wanted, they had to modify these beads by hand under a microscope.

2020 – First Generation: These were created using a new evolutionary algorithm. It automatically designed new biological structures, and then, based on their simulation, selected the best of them and assembled them from frog heart and epidermal cells. The peculiarity of these bots was their movement in a swarm, while they covered a distance of up to 39 mm in 12 hours and independently collected small particles into heaps [1].

2021 – Reproduction: Xenobots, which resembled the video game character Pac-Man, learned to capture free cells, and then assembled new working copies from them – they could assemble up to four generations in a row, without copying DNA and cell division [2].

2023 – Anthrobots: A little later, researchers decided to apply the same methods to human tracheal cells. And we got new structures. They were approximately 30-500 μm in size and lived for 45-60 days [4]. An interesting feature was the ability of the anthrobots in the group to help damaged neurons regenerate – nerve cells began to grow within three days [3]. But all these experiments were carried out in a laboratory bowl.

2025 – Memory: after new experiments, in 2025, researchers identified 537 uniquely activated genes in xenobots. These genes responded to sound of 100-500 Hz and their ability to “remember” light stimuli using introduced RNA molecules [4].

2025 – Cell Rejuvenation: The essence of rejuvenation is that when anthrobots self-assemble, adult cells become biologically younger by approximately 25% based on certain epigenetic markers – again, without genetic intervention [5]. Their key features: they move using tiny hairs on the surface, called cilia.

When the nutrients run out, the biorobots begin to decompose without leaving any toxic residues or traces in the environment.

Medicine. The main property of anthrobots, which increases their importance for medicine, unlike ordinary xenobots, is that they can be created from the cells of a patient. This feature means

that the immune system will not reject them as a foreign body [3]. In theory, they could deliver drugs directly to tumours, clear clogged arteries, or even help the body recover from spinal cord injuries.

But, unfortunately, so far all this only works in a laboratory bowl. Until now, no one has ever introduced anthrobots into a living organism, and we do not know how they will behave in the bloodstream, the immune system, and three-dimensional tissues. They also have a limitation in their creation. In one production cycle, only a few hundred biorobots are produced, but this is not enough because millions are needed for therapy.

The ability of xenobots to collect small particles up to one millimeter in size prompted researchers to use them as small microplastic cleaners; they collected particles into piles that a filter could collect; the filters themselves do not cope well with microplastics [1].

After completion of the work, xenobots simply decompose without polluting the environment. But this method has its own problems: xenobots can reproduce only in environments containing free stem cells, and they are not found in the natural rivers and seas we are accustomed to. We also still don't know how xenobots might begin to behave when temperature, salinity, and water pollution change, since no one has yet conducted the necessary experiments.

Xenobots and anthrobots raise many questions. If you look from the outside, they are also living beings: they exhibit metabolic activity, move, react to the world around them and can reproduce [2]. But on the other hand, they are created for a specific purpose, that is, intentionally, like an ordinary tool.

As for the risks. Uncontrolled reproduction of xenobots is actually very unlikely: this requires free stem cells in the environment, and in nature, as it was already mentioned, such cells are not naturally present [2]. But at the same time, international standards for working with xenobots and anthrobots have not yet been implemented.

***Conclusion*.** To summarize, in just five years, xenobots and anthrobots have gone from a simple idea to real laboratory results. Researchers have been able to prove that it is possible to create structures from cells without the use of genetic modifications, but using their ability to independently unite [1, 6], the ability to reproduce in completely new ways [2], the ability to respond to various sounds and remember light stimuli [4] and even help nerve cells recover [3]. It has also been found that adult cells become biologically younger after a process of self-assembly, a key feature that could help in the development of new treatments or other fields of science [5].

However, these findings remain largely preliminary. Not a single experiment has yet been carried out inside a living organism. To date, we cannot explain the key effects. We do not have the ability to produce biorobots in the quantities required for all our needs. Therefore, current evidence suggests that, anthrobots will most likely remain a research tool for the next few years, but the possibility of their further application in various fields is very high.

References

1. Kriegman S., Blackiston D., Levin M., Bongard J. A scalable pipeline for designing reconfigurable organisms [Electronic resource] / Proceedings of the National Academy of Sciences. – 13.01.2020. – Mode of access: https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1910837117 – Date of access: 04.03.2026.

2. Kriegman S., Blackiston D., Levin M., Bongard J. Kinematic self-replication in reconfigurable organisms [Electronic resource] / Proceedings of the National Academy of Sciences. – 29.11.2021. – Mode of access: https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2112672118 – Date of access: 04.03.2026.

3. Gumuskaya G., Srivastava P., Cooper B.G. et al. Motile living biobots self-construct from adult human somatic progenitor seed cells [Electronic resource] / Advanced Science. –30.11.2023. – Mode of access: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/advs.202303575 – Date of access: 04.03.2026.

4. Pai V.P. et al. Basal xenobot transcriptomics reveals changes and novel control modality in cells freed from organismal influence [Electronic resource] / Communications Biology. – 22.04.2025. – Mode of access https://www.nature.com/articles/s42003-025-08086-9 – Date of access: 04.03.2026.

5. Gumuskaya G., Davey N., Srivastava P. et al. The morphological, behavioral, and transcriptomic life cycle of anthrobots [Electronic resource] / Advanced Science. – 06.06.2025. – Mode of access https://advanced.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/advs.202409330 – Date of access: 04.03.2026.

6. Blackiston D., Lederer E., Kriegman S., Garnier S., Bongard J., Levin M. A cellular platform for the development of synthetic living machines [Electronic resource] / Science Robotics. – 17.03.2021. – Mode of access: https://www.science.org/doi/10.1126/scirobotics.abf1571 – Date of access: 04.03.2026.

UDC 004.42

«CO-OWN» DIGITAL PLATFORM

Sergievich N.V., Navoev J.E.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Goncharova I.V. – Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. The article discusses the concept of the Co-Own digital platform, developed to solve the problem of attracting financing and first customers for small businesses in Belarus. Unlike traditional loans and grants, the platform offers a crowdfunding mechanism through the purchase of tokens, which allows users to become microinvestors in startups. The functional modules of the system and its key advantages are described: low entry threshold, transparency, and legal protection. The conclusion is made about the prospects of this model, which has no analogues in the country, and the need for its further development.

Keywords: Digital platform, small business, startup, crowdfunding, tokenization, microinvestment, attraction of investments, startup capital.

***Introduction*.** Small businesses in Belarus face challenges in attracting their first customers and start-up capital. What is commonly considered traditional marketing requires significant financial resources. Obtaining a bank loan is often difficult, as many applicants have a poor credit history or lack collateral. The idea of a digital platform has been proposed, which will benefit both novice entrepreneurs and other users who will have an easy and affordable opportunity to invest in a business.

Main part. The goal of the work: to create a platform that is beneficial for its owners, small business owners, and people who want to invest and make a profit. A platform that turns customers into potential investors through equity participation and indirect investment in a start-up small business, providing the business with promotion without significant initial costs.

It has been noted that many promising startups with a unique idea at their core fail simply because they lack a sufficient marketing budget. Existing solutions to this problem, such as grants and loans, do not ensure rapid growth. Grants often do not help small businesses due to high competition (about 10% of applications are approved [1]), restrictions on the use of funds, and the need for strict reporting. The complicated application process, partial financing (requiring personal investment), and the mismatch between the grant provider's goals and the needs of the business make them ineffective for operational tasks. Loans often do not help small businesses due to high debt burdens, the risk of bankruptcy in the absence of revenue growth, and the misuse of funds. High interest rates, strict bank requirements (need for collateral, work experience), and difficulties in tracking hidden costs often turn borrowed funds into a financial trap rather than a tool for development.

At the global level, the situation with investments involving relatively small amounts that are accessible to most people is much better. The global crowdfunding market size was valued at USD 1.83 billion in 2025 and is projected to grow from USD 2.11 billion in 2026 to USD 5.91 billion by 2034 [2].

What is the essence of the Co-Own digital platform and where should the profit come from? The platform will work as follows. Investors purchase internal currency– tokens. The money received from investors is directed toward investments in businesses selected by the investors. Then, depending on the success of the selected startup, the investor either receives a profit or not. The owners of the Co-Own digital platform receive a small percentage of the funds spent on the purchase of tokens and a percentage of the funds received as profit from the startup. Below is a diagram describing the essence of the Co-Own digital platform (shown in Figure 1).

The Co-Own platform has no analogues in the Republic of Belarus. It is quite possible that there are similar platforms in the CIS countries. This idea will give entrepreneurs the opportunity to profitably develop their business and effectively increase their working capital without getting into debt. For citizens of the Republic of Belarus, the Co-Own platform will provide an opportunity to become micro-investors in local businesses they like and receive financial benefits from this, provided that the business in which the money was invested is successful.

How can the Co-Own digital platform be presented in practice? The project can be implemented on a website or in a separate application.

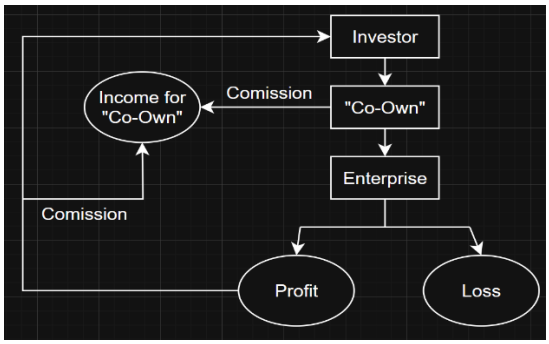


Figure 1– Cash flow diagram for the “Co-Own” digital platform

The system will have the following main sections:

1 Menu for selecting a business to purchase a token. This section will be intended for users who are potential investors. Here they can familiarize themselves with the existing selection of start-ups and information about them and their owners. It will immediately display businesses in which users can invest by purchasing tokens with the aim of making a profit.

2 Business publication menu for finding investors. This menu will be intended for startup owners. Here, they will be able to familiarize themselves with the conditions for publishing their business in order to attract investment.

3 Information section. This section will contain all information about the Co-Own digital platform. This includes: privacy policy, information about profits, guarantees, and user rights and obligations.

The Co-Own digital platform will have many advantages over other investment systems. Some of the advantages are: 1) a simple and understandable system; 2) the platform acts as an intermediary between investors and entrepreneurs. This makes life easier for both parties; 3) the platform provides full traceability of funds. Businesses are required to publish reports, and investors can view the financial status of the project and the distribution of profits at any time; 4) you can become an investor with a minimum investment (from a few hundred rubles). This makes investing accessible to the general public, not just wealthy individuals; 5) the platform provides legal support for transactions and reviews projects before listing them, protecting both parties from fraud.

How does investing through the Co-Own digital platform differ from the traditional purchase of shares in large companies? Firstly, the opportunity to purchase shares is most often only available from large companies that already have stable profits. Co-Own, on the other hand, is aimed at helping small businesses by investing in new startups that will attract investors. Secondly, buying shares in the Republic of Belarus is much more complicated than it seems. You need a broker and a special application. In addition, buying shares for small amounts does not generate a high return. As already mentioned, the Co-Own digital platform allows you to invest even small amounts. The commission percentage is much higher for brokers than for our platform. In addition, you have proximity to the business; the company or firm in which the investor has invested is “close by” in the Republic of Belarus: the investor can personally find out where his money is invested.

Conclusion. Thus, the idea of the Co-Own digital platform is a promising direction for implementation. Further economic market research, software development research, and legal research are needed before this idea can be brought to life.

References

1. Office Life: «Белстат рассказал, какой вклад в ВВП страны внесли ИП и малый бизнес в 2024 году”. – Mode of access: https://officelife.media/news/62794-belstat-rasskazal-kakoy-vklad-v-vvp-strany-vnesli-ip-i-malyy-biznes-v-2024-godu. – Date of access: 11.03.2026.

2. Fortune Business Insights: Crowdfunding Market Size, Share & Industry Analysis, By Type (Equity-based, Debt-based, Blockchain-based, and Others), By End-user (Startups, NGOs, and Individuals), and Regional Forecast, 2026-2034. – Mode of access: https://www.fortunebusinessinsights.com/crowdfunding-market-107129. – Date of access: 11.03.2026.

UDC 004.056.53: 621.395.62

CYBERSECURITY ON YOUR SMARTPHONE: WHAT YOUR APPS ARE HIDING

Sevrukov K.I.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Likhtarovitch I. I. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This paper examines the cybersecurity implications of hidden data collection practices in mobile applications. By analyzing the economic incentives behind data monetization, technical permission-exploitation mechanisms, and resulting cybersecurity risks, the study argues that covert data collection constitutes a systemic vulnerability within the mobile ecosystem. Practical mitigation strategies for end users are also identified.

Keywords: mobile security, data privacy, application permissions, data monetization, digital hygiene, cyber risk.

***Introduction*.** Smartphones have become an integral part of daily life for billions of people worldwide. They provide access to contacts, bank accounts, social networks, and messengers. The convenience that makes a smartphone indispensable simultaneously makes it particularly vulnerable. The threat comes not only from malicious software, but also from applications that appear completely safe, whose data collection practices extend far beyond what is disclosed in their terms of service – agreements that are rarely read in practice.

The processing, transfer, and distribution of users' personal data to third parties leads to specific cyber threats, including theft of personal data, social engineering, and financial fraud. The purpose of this paper is to analyze the mechanisms by which mobile applications collect and transmit confidential user information without their knowledge, as well as the cybersecurity risks arising from these hidden practices.

Main part. Applications distributed as "free", such as social networks, VPN services, flashlight utilities and calculators, – are not free in the economic sense. Users pay with their personal data, which is collected by these applications. In some cases, this is necessary for correct operation, for example, precise geolocation for a navigation app. In other cases, it serves to understand development direction or to offer personalized advertising. However, applications frequently "leak" users' personal data to advertising networks and data brokers through third-party SDKs (Software Development Kits) – ready-made software libraries that include programs for data analytics, push notifications, or advertising content. Developers themselves often do not have a complete understanding of what data these libraries collect.

The result is a system of persistent digital profiling. Data from millions of users – their geolocations, interactions, and digital device traces – are correlated across services to form detailed behavioral profiles. This not only enables highly accurate personalized advertising, but also creates a vast repository of sensitive information that can compromise users in ways far beyond targeted marketing.

The iOS and Android operating systems implement a permission system based on the principle of least privilege: applications should request access only to data minimally necessary for correct functioning. In practice, this mechanism is bypassed through redundant permission requests. An illustrative example is the flashlight app – a utility whose sole purpose is to activate the camera flash, yet in numerous documented cases it has requested precise geolocation and device identification [1]. This serves no practical functionality for the app; it is done solely to collect data for the benefit of built-in advertising SDKs.

Beyond abusing permissions, applications employ additional data collection mechanisms. Metadata collection, including screen time, network status and device configuration, is gathered without the user's awareness or permission, as platforms classify such data as non-personal, despite

its significant value for profiling [2]. Background data transfer allows an application to continue exchanging information with remote servers even after the user has closed it, making ongoing data exfiltration difficult to detect or prevent.

The implications of covert data collection extend far beyond the informational domain. Detailed geolocation histories collected by advertising SDKs can accurately reveal a user's home address, workplace, medical clinic, and social circle – information that can be exploited for harassment, phishing attacks, and corporate espionage. Individually harmless data points, when combined across multiple applications sharing a common SDK, can produce a comprehensive profile sufficient to track a specific individual [3].

Public data networks present an additional threat vector. While TLS (Transport Layer Security) encryption is the standard for modern mobile traffic, its implementation frequently contains vulnerabilities: invalid certificate handling and outdated cryptographic protocols are not uncommon in production applications. Software obsolescence compounds this problem: a significant portion of applications run on versions released months or years prior, retaining unpatched security vulnerabilities that remain exploitable long after fixes have been published.

Users have access to a substantial set of protective measures. Permission management – reviewing granted permissions and disabling those not directly relevant to an application's core function – represents the most fundamental countermeasure. Applications requesting geolocation access should be configured to "during use only" mode. Microphone and contact access should be trusted only to applications whose purpose makes such access unambiguous. Regular updates to both applications and the operating system minimize exposure to known vulnerabilities.

Critical evaluation of "free" services is equally important: users who understand that advertising-model applications monetize their data are better equipped to assess the true cost of a given application before installing it [4]. The use of reputable VPN services may reduce the risk of traffic interception in environments where application-level encryption may be insufficient. Together, these practices constitute a coherent personal security posture that significantly reduces the attack surface presented by smartphone usage.

***Conclusion*.** The hidden data collection conducted by mobile applications is not an incidental phenomenon, but a structural consequence of the economic model underlying consumer software. The integration of advertising SDKs, abuse of the permission system, and background data transmission combine to create a pervasive surveillance infrastructure within applications that ordinary users perceive as simple utilities. The resulting cybersecurity threats – identity theft, behavioral profiling, network traffic interception, and vulnerability exploitation – are well-documented and growing in scale [5].

Countering these threats requires not only systemic regulatory measures, but also conscious behavior on the part of individual users. Permission management, consistent software updates and critical evaluation of free services represent a practical and accessible response to the problem. As smartphones have become the dominant computing device in everyday life, cybersecurity literacy is no longer optional – informed digital behavior is itself a necessary element of personal security in the modern information environment.

References

1. Android Permissions: User Attention, Comprehension, and Behavior [Electronic resource] / A. P. Felt [et al.] // Proceedings of SOUPS. – New York : ACM, 2012. – Mode of access : https://cups.cs.cmu.edu/soups/2012/proceedings/a3_Felt.pdf – Date of access : 03.03.2026.

2. Bug Fixes, Improvements, ... and Privacy Leaks [Electronic resource] / J. Ren [et al.] // Proceedings of NDSS 2018. – San Diego : Internet Society, 2018. – Mode of access : https://dspace.networks.imdea.org/handle/20.500.12761/506 – Date of access : 03.03.2026.

3. Exposing the Invisible Web: Third-Party HTTP Requests on 1 Million Websites [Electronic resource] / T. Libert // International Journal of Communication. – 2015. – Vol. 9. – P. 3544–3561. – Mode of access : https://ijoc.org/index.php/ijoc/article/view/3646/1503 – Date of access : 03.03.2026.

4. The Age of Surveillance Capitalism [Electronic resource] / S. Zuboff. – New York : PublicAffairs, 2019. – Mode of access : https://www.hbs.edu/faculty/Pages/item.aspx?num=56791 – Date of access : 03.03.2026.

5. Number of Smartphone Users Worldwide from 2016 to 2029 [Electronic resource] / Statista Research Department. – Hamburg : Statista, 2024. – Mode of access : https://www.statista.com/statistics/330695/number-of-smartphone-users-worldwide/ – Date of access : 03.03.2026.

UDC 331.538–057.875

ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF BSUIR'S INTERACTION WITH IT COMPANIES IN THE CONTEXT OF THE DISTRIBUTION AND EMPLOYMENT OF GRADUATES

Sharstsiuk R.A., Kravchuk N.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Lasarenko A.M. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This paper analyses the cooperation system between BSUIR and leading IT companies in the context of graduate distribution and employment. Drawing exclusively on official data published on bsuir.by, the study examines quantitative partnership indicators, forms of university–industry cooperation, active corporate educational centres, and graduate employment outcomes. Key structural strengths and directions for further development of the partnership model are identified.

Key words: BSUIR; IT companies; graduate employment; university–industry cooperation; educational centres; Hi-Tech Park; practical placement; distribution system.

***Introduction*.** The Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (BSUIR), founded in 1964, is the leading engineering university in the Republic of Belarus in the fields of computer science, radioelectronics, and telecommunications. Over more than 60 years the university has trained over 100,000 graduates and holds the status of the base organisation of the CIS in the field of higher education in computer science and radio electronics [1]. Today BSUIR enrols over 10,000 students annually across 8 faculties, 35 research laboratories, and 7 research centres [2].

The Republic of Belarus has been actively developing its IT sector since the establishment of the Hi-Tech Park (HTP) in 2005, which created preferential conditions for technology companies and accelerated demand for qualified IT professionals. BSUIR addresses this challenge through a multi-layered partnership system involving corporate educational centres, joint research laboratories, academic department branches at enterprises, and targeted employment contracts. As of 2025, this system encompasses partnerships with 168 institutions in more than 50 countries [3]. The objective of this paper is to systematically assess the forms and outcomes of BSUIR's cooperation with IT companies in the context of graduate employment. All data are drawn exclusively from official sources on the BSUIR website (bsuir.by).

Main part. The scale of BSUIR's cooperation with industry is confirmed by specific indicators on the official university website. As of 2025, BSUIR maintains 45 joint educational and research laboratories; 28 branches of BSUIR academic departments function inside leading enterprises; and 7 corporate educational centres of world-leading companies operate on campus [1]. The university guarantees 100% of state-funded students entry-level employment upon graduation [1]; every year employer requests exceed the number of available graduates by a factor of two [1]; and approximately 20% of graduation projects are introduced directly into industrial production [1].

Corporate educational centres represent one of the most institutionally significant mechanisms of BSUIR's cooperation with industry. Seven centres of world-leading companies currently operate on campus: the National Instruments Educational Centre, the IBM Centre of Competency, the Cisco Networking Academy Affiliate, the SAP Academic Competence Centre, the Android Software Centre, the INTES Educational and Research Centre, and the BSUIR–Huawei Engineering and Educational Centre. Each provides students with access to vendor-specific technology platforms and professional certification alongside their degree programmes [4].

Among corporate partners, Huawei occupies a particularly prominent position in 2025. BSUIR Rector Vadim Bogush has identified cooperation with Huawei as a key element of the university's international industry engagement [5]. The Cisco Networking Academy Affiliate enables students to obtain CCNA certification prior to graduation, significantly enhancing their labour market competitiveness. At the Faculty of Computer Design (FCAD), the joint laboratory "Integrated Mobile Systems", established with AXONIM Devices in partnership with Analog Devices, Texas Instruments, and ST Microelectronics, provides professional-grade embedded systems development experience [4]. Table 1 classifies current active corporate partners, cooperation forms, and university units involved.

Table 1 – Active IT-Company Partners of BSUIR (2022) (source: bsuir.by)

Company / Organisation	**Cooperation Form**	**Faculty / Unit**	**Status (2022)**
Huawei	BSUIR–Huawei Engineering & Educational Centre; joint R&D projects	University-wide	Active
IBM	IBM Centre of Competency; applied computing and data management	FITC, IIT	Active
Cisco	Cisco Networking Academy Affiliate; CCNA certification courses	FITC, IIT	Active
SAP	SAP Academic Competence Centre; ERP and enterprise systems training	FITC	Active
National Instruments (NI)	NI Educational Centre; LabVIEW instrumentation and measurement labs	FCAD, IIT	Active
INTES	INTES Educational & Research Centre; CAD/CAE engineering systems	FCAD	Active
Android Software Centre	Android application development training and certification	FITC	Active
IBA Group (IBA IT-Park)	Targeted employment; internships; joint projects	FITC, FCSN	Active
EPAM Systems	Internships; targeted employment for software graduates	FITC, FCSN	Active
Itransition	Internships; targeted employment; guest lecture programme	FITC	Active
AXONIM Devices (+Analog Devices, TI, STMicro)	Joint laboratory «Integrated Mobile Systems»; hardware training	FCAD	Active

The Faculty of Information Technologies and Control (FITC) maintains partnerships with IBM, Intel, IBA Group, EPAM Systems, Itransition, TopSoft, and Galaktika Corp., among others [4]. The Faculty of Computer Systems and Networks (FCSN) operates 13 joint laboratories and certified educational centres [4]. This multi-faculty engagement ensures that university–industry cooperation is embedded throughout the entire educational process rather than being confined to isolated units.

Belarus operates a mandatory graduate distribution system under which state-funded graduates are assigned to employers for an obligatory two-year work placement following graduation [6]. Within this framework, BSUIR guarantees 100% employment for all state-funded students. The consistent 2:1 ratio of employer requests to available graduates indicates that demand for BSUIR graduates structurally exceeds supply [1]. According to the Department of Intelligent Information Technologies (IIT) official page, 85% of IIT graduates obtain employment in HTP-resident companies including EPAM Systems, Itransition, IBA IT-Park, Gamestream, TechArtGroup, Qulix Systems, and Applied Systems, while the remaining 15% are employed by state enterprises [7].

BSUIR's cooperative network extends beyond Belarus: bilateral agreements are maintained with 168 institutions in more than 50 countries, and approximately 1,000 international students from 40 countries study at the university annually [3]. BSUIR was the first engineering institution in Belarus to introduce English-medium programmes (initial enrolment 2009), and degrees are recognised in 80 countries [8, 9]. Programmes co-developed with the Computer Systems Institute (CSI) of the USA are delivered through BSUIR-affiliated branches in Boston and Chicago, providing graduates with direct access to the North American IT labour market [8]. In October 2025, BSUIR participated in the III Meeting of the Association of Universities of Belarus and China [10], reflecting a broader strategic reorientation toward Asian counterparts that complements deepening corporate cooperation with Huawei.

Despite the strong quantitative indicators, several structural challenges warrant attention. The breadth of the partner network does not automatically guarantee uniform quality of practical training across all partner sites. The development of differentiated quality standards and structured student feedback mechanisms would significantly strengthen the system. Currently, over 400 organisations provide practical placement for students, but the depth of engagement varies considerably between

large corporate partners such as EPAM Systems and Huawei on the one hand, and smaller regional enterprises on the other.

The mandatory distribution system, while ensuring full employment for state-funded graduates, may constrain individual career mobility. Introducing greater flexibility within the framework – for example, enabling graduates to self-select among approved partner companies – could improve satisfaction and long-term retention at placement sites.

Rapid technological change in artificial intelligence, cloud computing, and cybersecurity requires continuous curriculum renewal. Formalised annual programme review procedures involving industry representatives, combined with expanded guest lecturer programmes from partner companies, would help maintain the currency of educational content. Structured co-creation of course modules between BSUIR academic staff and engineers from partner companies such as EPAM, Huawei, and IBM would be particularly valuable in fast-evolving specialisations where the gap between academic syllabi and industrial practice tends to widen most quickly.

***Conclusion*.** This paper has provided a structured analysis of BSUIR's cooperation with IT companies in the context of graduate distribution and employment, based entirely on data from bsuir.by. The quantitative foundation of the system is strong: 45 joint laboratories, 7 corporate educational centres, 28 academic department branches at enterprises, 100% graduate employment guarantee, a 2:1 employer request ratio, and a 20% production introduction rate for graduation projects [1]. These indicators confirm the structural effectiveness of the existing cooperation model.

The active participation of Huawei, IBM, Cisco, SAP, NI, INTES, EPAM, Itransition, IBA Group, and AXONIM Devices across multiple forms of cooperation – from on-campus educational centres to targeted employment contracts and joint research laboratories – demonstrates both the depth and durability of BSUIR's university–industry partnerships. The university's continuing education infrastructure, which offers professional development programmes to industry practitioners and recent graduates alike [11], further reinforces the long-term nature of these relationships and ensures cooperation extends beyond initial graduate placement into ongoing professional development. Addressing identified challenges in quality assurance of practical training, distribution flexibility, and curriculum currency will be essential for maintaining BSUIR's position as the primary supplier of qualified IT and engineering professionals to the Belarusian and international technology markets.

References

1. Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. Key Facts [Electronic resource]. Mode of access: https://www.bsuir.by/en/key-facts. Date of access: 04.03.2026.

2. Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. BSUIR Main Page [Electronic resource]. Mode of access: https://www.bsuir.by/en/. Date of access: 04.03.2026.

3. TopUniversities. Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics [Electronic resource]. Mode of access: https://www.topuniversities.com/universities/belarusian-state-university-informatics-radioelectronics. Date of access: 04.03.2026.

4. Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. All Faculties [Electronic resource]. Mode of access: https://www.bsuir.by/en/all-faculties. Date of access: 04.03.2026.

5. MyUniver.org. BSUIR: Admission Plans and a New Specialty in 2025 [Electronic resource]. Mode of access: https://myuniver.org/en/articles/bsuir-admission-plans-and-a-new-specialty-in-2025-sz. Date of access: 04.03.2026.

6. Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. Graduate Distribution, 1st Degree [Electronic resource]. Mode of access: https://www.bsuir.by/ru/raspredelenie-1-stupeni-obrazovaniya. Date of access: 04.03.2026.

7. Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. Department of Intelligent Information Technologies [Electronic resource]. Mode of access: https://www.bsuir.by/ru/kaf-iit/uchebnaya-rabota. Date of access: 04.03.2026.

8. Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. Study in English [Electronic resource]. Mode of access: https://www.bsuir.by/en/study-in-english. Date of access: 04.03.2026.

9. Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. Master Degree [Electronic resource]. Mode of access: https://www.bsuir.by/en/master-degree. Date of access: 04.03.2026.

10. Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. Photo Gallery 2025 [Electronic resource]. Mode of access: https://www.bsuir.by/ru/fotogalereya/2025. Date of access: 04.03.2026.

11. Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. Continuing Education [Electronic resource]. Mode of access: https://www.bsuir.by/en/continuing-education. Date of access: 04.03.2026.

UDC 004.8: 004. 42

THE HIDDEN COST OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN PROGRAMMING

Shibaev I.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Likhtarovitch I. I. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This article examines a structural contradiction in AI-assisted programming. While large language models accelerate code generation, their improvement is constrained by the exhaustion of high-quality human-written training data. As synthetic data increasingly enters training pipelines, recursive learning from model-generated content may create feedback loops leading to model collapse, reduced code diversity, and hallucinations in software development.

Keywords: large language models, programming, synthetic data, model collapse, feedback loop, hallucinations, code generation.

***Introduction*.** AI code assistants accelerate drafting, refactoring, and test writing. Yet their own development now depends on a resource that is becoming scarce: high-quality human-written text and code. The paradox is straightforward. The more programming is delegated to large language models, the more the public code ecosystem becomes filled with synthetic output, and the less stable the knowledge base for the next generation of models becomes. Research on data scaling suggests that the stock of public human-generated text is finite and may become a serious bottleneck for further LLM growth [1]. When that limit is approached, training pipelines inevitably lean harder on synthetic data, creating a recursive feedback loop in which models learn from their own approximations instead of from original human practice [2, 3].

Main part. The shortage should not be understood as the literal disappearance of human-written text. Repositories, forums, documentation, issue trackers, and technical blogs still exist. The problem is narrower and more serious: the supply of open, legally usable, deduplicated, and genuinely informative data is finite, while the demand of frontier models is enormous. Villalobos et al. estimate that public human-generated text may become a binding constraint for scaling between 2026 and 2032 [1]. In programming, this matters even more because not every snippet has equal value. A copied template adds little. A bug report explaining why a design failed, an edge-case discussion, or a niche library example contains rare signal that is hard to reproduce artificially.

Synthetic data appears to solve this problem. It is cheap, fast, filterable, and easy to adapt to target tasks. Models can generate code samples, explanations, tests, and debugging dialogues at an industrial scale. However, the large-scale reuse of such synthetic content gradually changes the statistical distribution of programming patterns available in public repositories. But synthetic data only imitates the statistical surface of programming discourse. It does not reproduce the real conditions under which robust code is written: failure, revision, disagreement, practical constraints, and tacit expertise. This difference becomes crucial once synthetic material is fed back into the training set.

Shumailov et al. describe model collapse as a process in which the tails of the original data distribution disappear when generative models are repeatedly trained on generated data [2]. In programming, those tails include unusual but valid API uses, minority languages, domain-specific idioms, defensive coding practices learned from outages, and nonstandard optimizations. They are rare, but they often distinguish production-quality engineering from a neat classroom answer. When recursive training suppresses these low-frequency patterns, the model becomes smoother and more uniform, yet also narrower.

This is the “dog chasing its tail” effect. A model produces plausible code; that code is published, indexed, and later recrawled; the next model then learns from it as if it were an independent human-generated contribution. The loop rewards fluency and repetition. Frequency begins to masquerade as correctness. A later study by a group including Stanford researchers shows that if original human data are preserved and synthetic data are accumulated instead of substituted, collapse can be mitigated [3].

The key point, however, remains unchanged. Synthetic data may support training, but it cannot safely replace the human-written core on which diversity and robustness depend.

For programmers, the most visible result of this process is hallucination in code generation. In software development, hallucinations are not only false statements in prose. They are invented APIs, nonexistent methods, wrong parameter names, misleading explanations of framework behavior, or code that looks coherent while failing at runtime. Recent work on code hallucinations shows that such failures are systematic enough to require dedicated benchmarks and detection methods [4]. The problem is amplified by the presentation style of LLMs: clean formatting, confident comments, and plausible naming make uncertainty look like competence.

Recursive dependence on synthetic data intensifies this risk. The model sees more polished but weakly verified code and fewer examples rooted in real debugging and production constraints. At the same time, reduced diversity pushes it toward the most probable and frequently repeated solutions. The result is not only more hallucinations, but also code homogenization. Generated programs converge on the same architectural clichés, the same shallow Annotationions, and the same safe-looking averages. As a result, developers may increasingly encounter similar solution patterns even in situations that require more specialised or context-dependent approaches. That may save time in the short term, but it narrows the design space from which programmers learn and innovate.

In practical terms, the hidden cost of AI in programming is not limited to isolated coding mistakes. It also changes how future engineers learn to think about software. If developers rely too heavily on assistants that consistently propose the most probable answer, they encounter fewer unconventional but justified solutions and fewer opportunities to understand why one design choice may be preferable to another in a specific context. Over time, this can weaken independent debugging habits, reduce attention to edge cases, and make engineering culture more dependent on machine-generated conventions. Moreover, when similar generated patterns dominate tutorials, repositories, and classroom exercises, the apparent consensus they create may conceal the fact that such solutions have never been tested under diverse real-world conditions. For universities and software teams, this means that the use of large language models should be balanced by practices that preserve genuine human expertise: code review, analysis of failed implementations, manual testing of critical paths, and careful study of documentation. Without such effort, the apparent productivity gain may conceal a gradual erosion of the intellectual skills on which reliable, diverse, and adaptable software depends. Maintaining a balance between automated assistance and independent engineering judgement therefore becomes an important challenge for both software education and professional practice.

Conclusion. The promise of AI in programming is significant, but it also has a hidden cost. Once high-quality human-written data becomes scarce, the temptation to replace it with synthetic data grows. If that substitution turns into a closed feedback loop, model collapse, weaker code diversity, and a higher rate of hallucinations become structural rather than accidental effects [2, 3]. For software practice, the conclusion is clear: LLMs can accelerate routine work, but they cannot be treated as autonomous authorities. Their output must be read, tested, profiled, and checked against documentation and human judgment. Human control is not a temporary inconvenience. It is the condition that keeps programming knowledge from degrading into an echo of machine-generated averages.

References

1. Villalobos P., Ho A., Sevilla J., et al. Will we run out of data? Limits of LLM scaling based on human-generated data [Electronic resource] / arXiv, 2024. – Mode of access: https://arxiv.org/abs/2211.04325 – Date of access: 06.03.2026.

2. Shumailov I., Shumaylov Z., Zhao Y., et al. The Curse of Recursion: Training on Generated Data Makes Models Forget [Electronic resource] / arXiv, 2024. – Mode of access: https://arxiv.org/abs/2305.17493 – Date of access: 06.03.2026.

3. Gerstgrasser M., Schaeffer R., Dey A., et al. Is Model Collapse Inevitable? Breaking the Curse of Recursion by Accumulating Real and Synthetic Data [Electronic resource] / arXiv, 2024. – Mode of access: https://arxiv.org/abs/2404.01413 – Date of access: 06.03.2026.

4. Agarwal V., Pei Y., Alamir S., Liu X. CodeMirage: Hallucinations in Code Generated by Large Language Models [Electronic resource] / arXiv, 2025. – Mode of access: https://arxiv.org/abs/2408.08333 – Date of access: 06.03.2026.

UDC 004.8:004.056

THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ETHICAL HACKING

Sorokin K.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Malikova I.G. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. The growth of cyber threats requires more effective cybersecurity approaches. Ethical hacking (penetration testing), is used to identify vulnerabilities in information systems before they are exploited by attackers. Artificial intelligence technologies are increasingly applied in cybersecurity practices. This article analyzes the role of AI in ethical hacking, its application in penetration testing, and the advantages and limitations of its use.

Keywords: Artificial intelligence, ethical hacking, cybersecurity, penetration testing, machine learning.

***Introduction*.** The proliferation of digital services and online infrastructures creates new challenges for information security. Organizations are increasingly dependent on complex networks, distributed applications, and cloud platforms, which often pose additional security risks. As a result, identifying weaknesses in these environments has become an important task for cybersecurity professionals.

Penetration testing plays an important role in protecting information systems. During this process, security experts simulate the methods used by attackers to identify weaknesses before they can be exploited [2, 3]. However, manual testing is often time-consuming and requires extensive knowledge. Thanks to the latest technological advances, intelligent analytical tools have emerged that can process large amounts of security-related data. These tools help specialists identify suspicious patterns, analyze network behavior, and predict potential vulnerabilities. Consequently, modern cybersecurity strategies increasingly include automated analytical methods to improve the effectiveness of security testing [1].

Modern organizations must constantly assess their security level, due to new vulnerabilities appearing as technology develops and the interconnection of systems increases. The integration of intelligent technologies into cybersecurity processes has also increased the ability of organizations to respond faster and more effectively to emerging threats [1]. Automated security platforms are capable of processing logs, network packets, and system events in real time, which significantly improves threat detection efficiency and allows security teams to focus on analyzing the most important issues. Large corporate infrastructures, cloud environments, and Internet of Things systems generate huge amounts of security data, making manual analysis impractical and emphasizing the need for intelligent data-driven approaches. In practice, these technologies are used to automatically scan vulnerabilities, analyze network traffic in real time, and detect anomalies in mission-critical systems. They can also help in compliance monitoring by ensuring that the organization's security practices comply with regulatory requirements and internal policies [1].

Main part. Advanced computing techniques support various stages of security assessment. One key stage is information gathering, where analysts collect data about the environment. Automated algorithms process publicly available information, network metadata, and system configurations to identify potential entry points [3].

Another important application is identifying vulnerabilities. Data-driven models, trained on historical incidents, recognize patterns related to known vulnerabilities. These models help detect configuration errors, outdated software components, or suspicious network behavior.

Intelligent technologies also contribute to modeling attack scenarios. By analyzing system architecture and data paths, automated tools simulate intrusion strategies [4]. Automation reduces repetitive work, such as system scanning, log processing, and traffic analysis, letting experts focus on decision-making. The overall structure of the penetration testing process, including the stages where such simulations may occur, is shown in Figure 1.The penetration testing process typically includes several sequential stages from information gathering and vulnerability analysis to attack simulation.

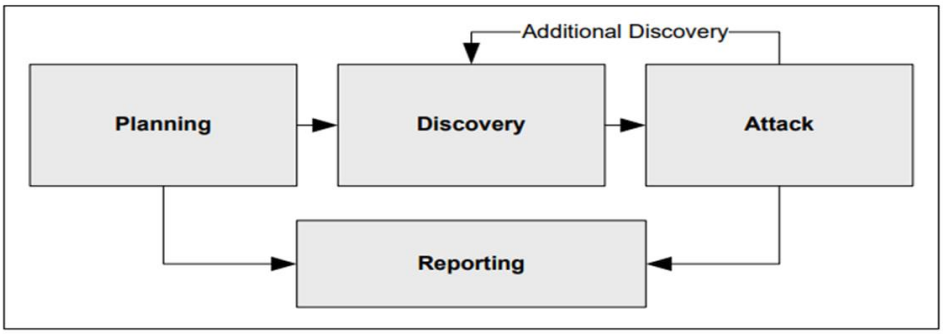


Figure 1 – Penetration testing process scheme

The integration of analytical technologies offers several advantages.

Firstly, automated systems speed up the assessment process by analyzing large amounts of data quickly [1].

Secondly, data-driven models improve risk prioritization. Instead of analyzing each problem, these systems assess the likelihood and potential impact, allowing professionals to focus on the most important vulnerabilities [5].

Scalability is another advantage, as automated analysis is more efficient than manual approaches, especially in environments with thousands of interconnected devices and services.

Finally, intelligent technologies enable continuous monitoring, increasing the ability to detect new threats [5].

Despite the advantages of automated tools, there are limitations.

One issue is the potential misuse of these technologies. The same capabilities that help professionals can also be used by attackers to automate cyber attacks [5].

Another concern is accuracy and reliability. Analytical systems depend on training data, which may be incomplete, leading to false alarms or missed vulnerabilities. Cybersecurity also requires context and creative problem-solving, which automated tools can't fully replicate. Therefore, intelligent technologies should be considered as supplemental tools, not replacements for specialists.

Conclusion. Modern cybersecurity environments require more advanced and adaptive methods for identifying system vulnerabilities. The integration of artificial intelligence technologies significantly enhances the effectiveness of ethical hacking by automating data analysis, supporting vulnerability detection, and enabling the simulation of potential attack scenarios. AI-based tools allow cybersecurity professionals to process large volumes of security data more efficiently and improve the prioritization of detected risks. At the same time, the use of artificial intelligence in cybersecurity introduces new challenges related to reliability, transparency of analytical models, and the potential misuse of these technologies by malicious actors. Therefore, artificial intelligence should be considered as a complementary tool that supports the work of cybersecurity specialists rather than replacing human expertise.

References

1. International Business Machines Corporation. AI in Cybersecurity Report [Electronic resource]. Mode of access: https://www.ibm.com/think/topics/ai-security. Date of access: 20.02.2026.

2. Engebretson P. The Basics of Hacking and Penetration Testing. Amsterdam: Syngress, 2013 [Electronic resource]. Mode of access: https://share.google/7J2aSY3gyuBm2s2rJ. Date of access: 21.02.2026.

3. National Institute of Standards and Technology. Guide to Penetration Testing // NIST Special Publication 800-115 [Electronic resource]. Mode of access: https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication800-115.pdf. Date of access: 01.03.2026.

4. Artificial Intelligence–Based Ethical Hacking for Health Information Systems: Simulation Study [Electronic resource]. Mode of access: https://www.jmir.org/2023/1/e41748/. Date of access: 21.02.2026.

5. Zaheer F. Ethical Hacking with AI: Predicting and Preventing Cyber Attacks in Real-Time [Electronic resource]. Mode of access: https://www.researchgate.net/profile/Faisal-Zaheer/publication/389647956_Ethical_Hacking_with_AI_Predicting_and_Preventing_Cyber_Attacks_in_Real-Time/links/67cb0681cc055043ce6f28df/Ethical-Hacking-with-AI-Predicting-and-Preventing-Cyber-Attacks-in-Real-Time.pdf. Date of access: 21.02.2026.

UDC 336.717:004.056

FIGHTING MONEY LAUNDERING WITHOUT SHARING SECRETS: PRACTICAL USE OF CONFIDENTIAL COMPUTING

Sosnovskiy T.I.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Goncharova I.V. – Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This paper explores the conflict between anti-money laundering efforts and strict banking privacy laws. It introduces Confidential Computing and Secure Enclaves as a secure solution to this problem. By utilizing secure, isolated environments, financial institutions can collaboratively analyze encrypted transaction data to detect financial crimes without ever exposing sensitive customer details. The article also highlights current real-world applications of this technology.

Keywords: confidential computing, secure enclaves, banking privacy, privacy-enhancing technologies, anti-money laundering, financial crime.

Introduction. Money laundering is the lifeblood of organized crime. It is the process by which illegally obtained funds are made to look legitimate, allowing criminals to use their profits without drawing the attention of law enforcement. In today's digital age, money laundering has become highly sophisticated. Modern criminal enterprises rarely use a single bank to clean their money. Instead, they fragment their transactions across multiple banks and send money across borders to make the trail confusing and borderline untraceable. [1]

Main part. It's usually impossible for a single bank to catch these transactions without seeing the full picture: where the money came from initially, who approved the transfer, their transaction history, etc. Banks need to share this data to connect the dots. However, this creates a massive conflict with data privacy. Strict laws forbid banks from simply handing over their clients' private transaction records to competitors or third parties. This creates a paradox: banks must share information to stop financial crime, but they are legally forbidden from sharing information to protect their customers' privacy. [2]

For years, this barrier seemed impossible to overcome. However, with the advent of Confidential Computing and secure enclaves, it became possible to share secrets between computers of different parties without actually revealing any data to a human. [3]

To understand it, let's first look at how data is typically protected. Historically, cybersecurity focused on protecting data when it is saved on a hard drive with the use of encryption (data at rest), and when it is sent over a network (data in transit). [4] However, there is a third state: data in use (Figure 1). Usually, a processor cannot work on encrypted data directly, so it needs to be decrypted and loaded into memory first. This is the vulnerable point where data is exposed to the operators of the system and hackers.

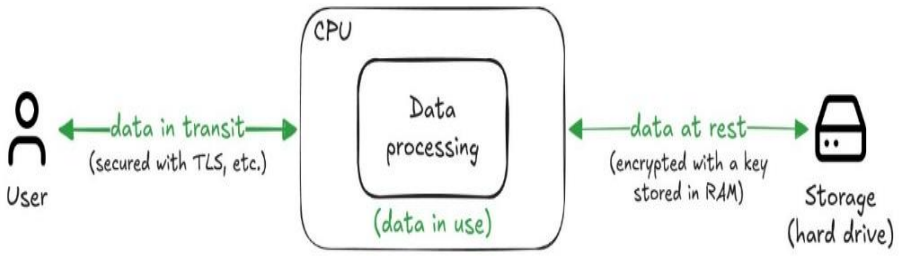


Figure 1 – Overview of the three states of digital data

Confidential Computing closes this gap by protecting data while it is being used. It does this through a hardware technology called a secure enclave. A secure enclave is an imaginary «locked box» stored deep within the computer's processor. Encrypted data comes into it, gets processed inside

it without leaking anything, and then some output becomes available to the outside world.his isolation is built directly into the physical hardware of the CPU, we only need to trust its manufacturer and the code running inside the enclave. Everything else can be cryptographically proven. Furthermore, developers can utilize memory-safe programming languages, such as Rust, to build secure software to be run inside the isolated environment, ensuring that no underlying vulnerabilities can be exploited to leak information from inside.

So, we can solve the privacy problem by allowing banks to share data between each other securely by building upon this hardware-level security. Crucially, the enclave can be programmed to output only the results of an analysis, not the transaction data. The output might simply be an alert: "This account and that account have a 95% probability of being part of the same money laundering network." This analysis can even be performed by an AI model that is running on a connected GPU. [5] Because the algorithm is transparent and verifiable, all participating banks or regulatory bodies know exactly what happens with the data, even if no one knows what data is coming in.

Several major institutions have already begun deploying Confidential Computing to tackle financial crime and other data-sensitive problems. One of the most remarkable examples is the collaboration between SWIFT and their partners. They have been developing an AI model with the help of Confidential Computing that allows them to detect fraud more easily. Along with other privacy-enhancing technologies, their initiative allows participants to collectively screen transactions for signs of money laundering and terrorist financing across institutional boundaries, all without any single party ever seeing another's customer data. They claim that this approach made the AI model twice as effective. [6,7]

Beyond the financial sector, confidential computing is also being adopted in healthcare. [8] The major cloud providers have recognized this demand as well. Microsoft Azure, Google Cloud, and Amazon Web Services all now offer confidential computing services built on top of hardware enclaves from Intel, AMD, NVIDIA, and others, making the technology accessible to smaller organizations that previously lacked the resources to implement such solutions on their own. [8–10]

Conclusion. The fight against money laundering has always been an arms race, with criminals constantly finding new ways to exploit the gaps between institutions and jurisdictions. For decades, one of the biggest gaps was legal and ethical: the inability to share private data across organizational borders. Confidential Computing does not eliminate privacy regulations. Instead, it offers an architectural solution that respects the spirit of these laws while still enabling collaborative analysis. By ensuring that sensitive data is also protected while it is actively being processed, secure enclaves remove the need for trust or contracts between parties and replace it with something far more reliable: verifiable, hardware-enforced isolation. This technology proves that privacy and transparency are not opposing forces but can, with the right engineering, work hand in hand.

References

1. Радюк Д. И. Легализация незаконных доходов: анализ моделей «отмывания» денег // Банковский бизнес и финансовая экономика: глобальные тренды и перспективы развития : материалы V Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, магистрантов и аспирантов. Минск: Белорус. гос. ун-т, 2020. Pp. 170–177.

2. Guidance on private sector information sharing. Paris: FATF, 2017. 50 p.

3. Scapicchio M., Kosinski M. What is confidential computing? [Electronic resource]. IBM. Mode of access: https://www.ibm.com/think/topics/confidential-computing (accessed: 28.02.2026).

4. Fitzgibbons L. States of Digital Data [Electronic resource]. 2019. Mode of access: https://www.techtarget.com/searchdatamanagement/reference/states-of-digital-data (accessed: 28.02.2026).

5. Kumar U., Emily S. Protecting Sensitive Data and AI Models with Confidential Computing [Electronic resource]. NVIDIA, 2023. Mode of access: https://developer.nvidia.com/blog/protecting-sensitive-data-and-ai-models-with-confidential-computing/ (accessed: 28.02.2026).

6. 2023 Swift Annual Review [Electronic resource]. SWIFT, 2023. Mode of access: https://www.swift.com/swift-resource/252305/download (accessed: 02.03.2026).

7. Swift AI innovation creates blueprint for banks to stop fraud faster through cross-border collaboration [Electronic resource]. SWIFT, 2025. Mode of access: https://www.swift.com/news-events/press-releases/swift-ai-innovation-creates-blueprint-banks-stop-fraud-faster-through-cross-border-collaboration (accessed: 02.03.2026).

8. Azure Confidential Clean Rooms Preview [Electronic resource]. Microsoft, 2025. Mode of access: https://learn.microsoft.com/en-us/azure/confidential-computing/confidential-clean-rooms (accessed: 02.03.2026).

9. Confidential Computing [Electronic resource]. Google Cloud. Mode of access: https://cloud.google.com/security/products/confidential-computing (accessed: 02.03.2026).

10. Brown D. Confidential computing: an AWS perspective [Electronic resource]. AWS Security Blog, 2021. Mode of access: https://aws.amazon.com/blogs/security/confidential-computing-an-aws-perspective/ (accessed: 02.03.2026).

UDC 004.8:004.91

AI– GENERATED TECHNICAL DOCUMENTATION IN GLOBAL ENGINEERING: THE NEW FRONTIER OF LANGUAGE, STANDARDS, AND QUALITY ASSURENCE

Surganova S.P., Kushchynski M.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Yushkevich E.V. – Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This paper investigates the impact of artificial intelligence systems. Through natural language processing and large language models, these systems offer speed and consistency, significantly affecting documentation workflows and standard compliance. The study analyzes technical effects such as reduced creation time and increased accuracy, addressing both the benefits and challenges, including quality control and data security. By reviewing existing literature and empirical studies, the research provides insights for businesses, policymakers, and researchers to promote responsible usage and enhance documentation quality.

Keywords: artificial intelligence, technical documentation, global engineering, quality assurance, machine translation, automation, standards compliance, data security.

***Introduction*.** The advent of artificial intelligence systems has revolutionized technical documentation processes. With advanced algorithms, documents are created swiftly, eliminating the need for manual drafting or traditional writing methods. This technological shift has enhanced efficiency and significantly influenced engineering communication. According to recent industry surveys, by the end of 2026, up to 80% of product documentation is expected to be AI-generated, transforming technical writers into strategic orchestrators [5].

As AI-generated documentation gains popularity, understanding its technical and behavioral impact is crucial for businesses, policymakers, and researchers. This paper explores how AI systems affect documentation choices, quality standards, and engineering workflows. By examining existing literature, it provides a comprehensive analysis of the implications of AI documentation on decision-making, highlighting both the benefits and potential drawbacks of this evolving technology.

Additionally, the paper will discuss future trends and technological advancements that could further shape the landscape of technical documentation. The continued evolution of this technology calls for adaptive strategies to ensure quality control and promote engineering literacy. Through this detailed examination, the study aims to offer valuable insights for leveraging the full potential of AI documentation, ensuring sustainable and responsible adoption.

Main part. AI documentation systems, using NLP technology, enable content creation with a prompt of a command or dataset. Their convenience and speed have boosted their popularity, especially among multinational corporations and technical teams. The global pandemic further accelerated their adoption due to reduced physical collaboration during projects [5].

Moreover, the integration of AI documentation with other digital services, such as version control systems and project management apps, has enhanced their appeal and functionality. The ability to link these documents with personalized updates or alerts has further incentivized their use among engineers. Additionally, the integration simplifies information management by providing users with detailed revision records, aiding in tracking and maintaining consistency. These systems are also becoming increasingly accepted globally, creating a more interconnected engineering ecosystem [3].

The technology's quick generation times make it ideal for software development, manufacturing protocols, and technical manuals. However, challenges include the initial cost for businesses, accuracy concerns, and data privacy issues. Despite these challenges, the trend shows a steady increase in AI documentation, indicating a long-term shift in engineering behavior [4]. The ongoing improvements in NLP technology continue to expand the potential use cases for AI documentation, further driving their adoption. As AI documentation becomes more ubiquitous, understanding its broader implications on engineering workflows and quality systems becomes increasingly important.

AI documentation reduces the «time of writing,» leading to increased output and rapid iterations. The convenience and speed of these transactions can override rational review processes. This behavior is common in places with frequent updates, like software repositories and agile teams [5]. Furthermore, the perceived ease and minimal cognitive load required for AI generation can lead engineers to subconsciously opt for them, reinforcing a cycle of frequent and higher content production. The technical effects of such seamless generation can alter how engineers value and manage their documentation over time.

Research indicates that the detachment from manual writing makes it easier for engineers to part with draft content, resulting in less mindful documentation habits. Awareness of these effects can help policymakers and businesses develop strategies to promote healthier documentation behaviors. The ease of AI documentation can also influence the perceived value of accuracy, leading to higher error rates compared to manual writing. Studies show higher inconsistency rates among consumers using automated or AI-generated content. Additionally, the intangible nature of AI generation can make tracking expenditures of time more challenging, potentially leading to decreased quality awareness.

Understanding these technical effects is crucial for businesses and policymakers. By recognizing how AI documentation influences engineering decision-making, they can develop strategies to promote responsible writing and enhance quality control, including clearer review notifications and auditing tools. Effective implementations merge AI efficiency with rigorous human validation through multi-stage review protocols [5].

The ease and speed of AI documentation, known as the «frictionless writing effect,» lower cognitive and emotional barriers to content creation. This leads to more frequent and higher expenditures of resources, particularly in the software, manufacturing, and retail sectors where impulse updating is common. The convenience also makes larger documentation projects feel less burdensome.

Integration programs and templates tied to AI documentation further encourage usage. Additionally, the seamless integration of AI documentation with mobile apps and online platforms facilitates even higher production rates, as engineers can effortlessly make updates across different channels. Engineers may also develop a preference for businesses offering AI options, potentially influencing market competition. The rapid adoption of AI documentation has also sparked innovations in the engineering sector, with businesses exploring new ways to enhance team engagement and satisfaction. However, the ease of transactions can lead to unintentional overspending of time, highlighting the need for effective workflow management tools and education.

Despite these benefits, the lack of physical writing exchange can reduce quality awareness, making it easier to overlook errors. Digital records, while detailed, may not effectively convey real-time quality impacts, challenging engineers to control their output. Technical literacy and awareness initiatives, along with tools for tracking revisions, are essential. To counteract these tendencies, businesses could offer features like quality caps and real-time expenditure tracking within their apps. Engineers might benefit from educational initiatives that promote mindful writing habits and emphasize the technical impacts of AI transactions. Furthermore, collaboration between engineering firms and technology providers to provide incentives for quality-conscious writing could be explored [2].

AI documentation has significant impacts on the economy and industry, potentially increasing engineering productivity and driving economic growth. Industries benefit from faster creation times and improved employee experience, especially in high-volume environments. The convenience encourages higher output, while integration programs boost sales and customer loyalty [5].

AI systems also reduce operational costs related to manual writing and streamline accounting processes. Furthermore, the increased data generated from AI transactions provides valuable insights for businesses, enabling them to tailor marketing strategies and optimize inventory management. These insights can help businesses create targeted promotions and improve customer retention [4].

The widespread use of AI documentation can also foster innovation in writing technologies, promoting a more dynamic and competitive market. However, the potential for increased consumer debt underscores the importance of promoting technical literacy and responsible writing practices. The ease of transactions may lead to increased reliance on automation, posing risks to skill stability. Promoting technical literacy and responsible writing practices is crucial. Digital payment systems

also raise cybersecurity and data privacy concerns, requiring robust security measures from businesses and financial institutions. Innovative solutions like biometric authentication and end-to-end encryption are essential in addressing these concerns. Additionally, ongoing public education campaigns can help raise awareness about the importance of data privacy and financial security.

As AI documentation systems become more widespread, security and privacy concerns grow. The primary risk is data leakage due to the lack of manual review for small amounts. Despite security measures, errors remain a significant possibility. NLP technology raises concerns about data interception, necessitating continuous improvements in encryption and security features [1].

Innovations in biometric authentication and tokenization are being explored to enhance security and minimize fraud risks associated with AI documentation. Additionally, public awareness campaigns can educate consumers on secure AI documentation practices. The effectiveness of these security measures is crucial for maintaining consumer trust and ensuring the continued growth of AI documentation. By staying ahead of emerging threats, financial institutions can provide a safer and more reliable payment environment for consumers.

Consumer trust is vital for the adoption of AI documentation. Transparent communication about security measures and privacy policies can build trust. Educating consumers on safe documentation practices and investing in advanced security technologies will ensure a secure AI documentation environment, supporting the continued growth and success of these technologies. Collaboration between financial institutions and technology providers can lead to innovative solutions that address evolving security challenges. Regularly updating consumers about new security features can further enhance their confidence in using AI documentation.

Conclusion. AI documentation systems have transformed engineering decision-making by influencing technical and behavioral patterns. Their ease and convenience make them integral to modern transactions, reducing the «time of writing» increasing impulsive updates, and altering documentation habits. As technology continues to evolve, the potential for even greater integration and innovation in AI documentation systems is significant, promising further shifts in engineering behavior.

Ensuring a balance between technological advancements and consumer protection will be key to maintaining the benefits of AI documentation. While benefits like faster transactions and improved customer satisfaction are clear, financial management and security concerns remain. The potential for overspending, along with data privacy and fraud concerns, requires continuous security advancements and consumer education.

The economic and retail implications are significant. By promoting higher spending and efficiency, AI documentation contributes to economic growth and reshapes retail. Addressing challenges in financial discipline and cybersecurity is essential for sustainable development.

In conclusion, AI documentation systems represent a transformative shift in engineering transactions. Understanding their impacts offers valuable insights for businesses, policymakers, and researchers. Leveraging these insights can promote responsible usage, enhance consumer protection, and harness the full potential of AI documentation for the future of commerce. Future research and collaboration among stakeholders will be essential for navigating the evolving landscape of AI documentation. By embracing these changes, society can fully realize the advantages of this innovative technology.

References

1.Smith S. EU AI Act Technical Documentation for AI-Enabled Medical Devices: Annex IV, MDR Mapping, and High-Risk Requirements [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.linkedin.com/pulse/eu-ai-act-technical-documentation-ai-enabled-medical-sean-smith . – Date of access: 08.03.2026.

2.Mindivik. India AI Summit 2026: What It Means for Technical Publications Leaders [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.linkedin.com/pulse/india-ai-summit-2026-what-means-technical-publications-mindivik . – Date of access: 19.02.2026.

3.Elmira. Documentation 2026: From Human-Centric to AI-First [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.techiehub.com/latest-in-tech/documentation-2026-from-human-centric-to-ai-first . – Date of access: 11.02.2026.

4.TechieHub. 12 Best AI Code Documentation Tools 2026 [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.techiehub.com/latest-in-tech/12-best-ai-code-documentation-tools-2026 . – Date of access: 23.02.2026.

5.Kaye J. AI for Technical Documentation: Complete Guide for 2026 [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.guidde.com/knowledge-hub/ai-for-technical-documentation-complete-guide-2026 . – Date of access: 27.02.2026

UDC 0048.8:502.2

THE IMPACT OF AI ON THE ENVIRONMENT

Tsando E.L.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Yushkevich E.V. – Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This paper provides a quantitative and technical analysis of the physical infrastructure supporting large-scale AI models like GPT-4. Rather than focusing on general productivity benefits, the study examines the critical surge in power density within data centers and predicts their emergence among the world's top five electricity consumers by 2026. Special attention is paid to the «water footprint» of computation in resource-stressed regions and the ecological degradation caused by the extraction of rare-earth minerals for GPU production. The author argues for a transition from corporate secrecy to mandatory transparency metrics and algorithmic optimization as fundamental requirements for environmental safety in the AI era.

Keywords: generative AI, environmental impact, data centers, energy consumption, water footprint, greenhouse gas emissions, sustainability, resource intensity, inference phase, hardware production.

Introduction. Amidst the rapid pace of technological progress, generative AI has emerged as a transformative force, rapidly transforming industrial sectors with its promises of increased productivity, groundbreaking scientific advancements, and creative innovations. Tools such as ChatGPT and DALL-E have made sophisticated computing accessible to a broader audience, enabling users to generate text, images, and code with remarkable ease.

However, beneath this surface of advancement lies a concerning reality: the environmental impact of generative AI is escalating at a concerning rate. Recent analyses from institutions like MIT, the United Nations Environment Programme (UNEP), and other experts highlight that the «gold rush» in generative AI is consuming vast quantities of electricity, water, and raw materials, thereby contributing to greenhouse gas emissions, water scarcity, and disruptions to ecosystems.

This article delves into the reasons behind the resource-intensive nature of generative AI, exploring its multifaceted impacts and the pressing need for sustainable practices.

Following a two-part framework akin to MIT's series, we will concentrate on the primary environmental challenges, laying the groundwork for future discussions on strategies for mitigation.

Main part. The computational foundation of generative AI – models comprising billions of parameters, such as OpenAI's GPT-4 – requires extraordinary resources from the outset. Training these models involves processing extensive datasets using complex algorithms, a process that can consume significant electrical power.

For example, estimates from researchers at Google and UC Berkeley indicate that training GPT-3 alone necessitated approximately 1,287 megawatt-hours – sufficient to power around 120 average U.S. households for an entire year – and resulted in the emission of about 552 tons of carbon dioxide.

This energy consumption is not a one-time occurrence; the energy footprint persists through deployment, inference (the process of using the model for queries), and continuous fine-tuning.

As emphasized by Elsa Olivetti, a professor at MIT's Department of Materials Science and Engineering, the environmental implications extend far beyond merely activating a computer. These effects propagate through global systems, spanning energy grids, water supplies, and material supply chains [1].

Central to these demands are data centers, expansive facilities that house the servers, storage, and networking equipment essential for powering AI. Although data centers are not new – the first one was established in 1945 at the University of Pennsylvania for the ENIAC computer – the rise of generative AI has significantly accelerated their growth.

Companies like Amazon operate over 100 data centers globally, each containing tens of thousands of servers. The key differentiator for generative AI workloads is their exceptionally high power density: a training cluster may consume seven to eight times more energy than typical

computing tasks, according to Noman Bashir, a postdoctoral researcher at MIT's Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory.

In 2022, data centers consumed 460 terawatt-hours of electricity, ranking them as the 11th largest electricity user among nations, positioned between Saudi Arabia and France. Projections are even more alarming: by 2026, this figure could surge to 1,050 terawatt-hours, potentially elevating data centers to the fifth largest electricity consumer, nestled between Japan and Russia.

This increase is primarily driven by generative AI's insatiable demand for computational resources. In North America alone, the power requirements of data centers doubled from 2,688 megawatts at the end of 2022 to 5,341 megawatts by the end of 2023. While not all data center activity is related to AI, this technology serves as a major contributor.

The rapid fluctuations in energy usage during AI training phases introduce additional complexities, often necessitating the use of diesel generators to stabilize power grids – a pollutive backup that worsens emissions.

Bashir notes that the pace of new data center construction is unsustainable, heavily reliant on fossil fuel-based power plants due to the inability of renewable energy infrastructure to keep pace. In the United States, data centers currently account for 4.4% of national energy consumption, while globally, they contribute approximately 1% of energy-related greenhouse gas emissions, a figure expected to rise significantly.

By 2035, the expansion of AI-driven data centers could result in an additional 0.4 to 1.6 gigatonnes of CO2 equivalent emissions, comparable to the annual output of several mid-sized countries [3].

Water consumption represents another significant environmental challenge. Data centers depend on chilled water to dissipate heat generated by high-performance hardware, with estimates indicating two liters of water are required per kilowatt-hour of energy consumed.

On a global scale, AI infrastructure could withdraw between 4.2 and 6.6 billion cubic meters of water by 2027 – quantities that rival the total usage of entire nations.

This situation is particularly problematic in water-scarce regions, where data centers often cluster for logistical reasons.

For instance, in Taiwan, water rationing in 2021 prioritized the semiconductor industry (crucial for AI hardware) over agriculture, highlighting competing demands.

Golestan Radwan of UNEP cautions that with a quarter of the global population lacking access to clean water, AI's substantial water consumption could exacerbate scarcity and disrupt ecosystems.

The physical presence of data centers in the «cloud» belies their tangible impacts: they strain municipal water supplies, disrupt local biodiversity through water diversion, and contribute to broader hydrological imbalances [4].

The hardware that fuels this growth also imposes indirect but significant environmental burdens. Graphics processing units (GPUs), which are essential for managing AI workloads, necessitate complex fabrication processes that consume more energy than standard CPUs.

Market data indicates that shipments of data center GPUs increased from 2.67 million in 2022 to 3.85 million in 2023, with even more pronounced growth anticipated in 2024.

The production of these chips demands rare earth elements and critical minerals such as lithium, silicon, gallium, boron, and graphite – resources frequently extracted through environmentally harmful mining practices.

These operations lead to deforestation, soil erosion, groundwater depletion, and contamination with toxic chemicals, adversely affecting human health and biodiversity.

The processing and transportation of these materials further exacerbate carbon footprints. Additionally, electronic waste generated from outdated hardware poses further risks, as data centers produce hazardous substances like mercury and lead that can leach into environments if not managed properly [2].

Beyond direct infrastructural challenges, the applications of generative AI introduce emergent risks. AI-driven biological design, for instance, functions as a «black box» with opaque processes, potentially introducing untraceable life forms into ecosystems – such as self-spreading viruses for

pest control – that could inflict irreversible damage. In military contexts, AI could lower barriers to biological attacks, resulting in lasting ecological harm.

Even in civilian sectors, AI enhances efficiency in polluting industries: the oil and gas sector employs it to optimize exploration and identify new reserves, which could lower fossil fuel costs and encourage overconsumption. Autonomous vehicles powered by AI may shift preferences away from sustainable transportation options such as public transit or cycling, leading to increased emissions. Higher-order effects, including AI-generated misinformation that downplays climate change, could further undermine public support for environmental initiatives.

Marine ecosystems face new threats from innovative yet untested solutions like underwater data centers. Projects such as Microsoft's Natick aim to reduce cooling costs by submerging facilities, but the heat they release could raise local water temperatures, diminishing oxygen levels and disrupting nutrient cycles. This exacerbates climate-induced ocean warming, jeopardizing marine biodiversity and food webs.

The expansion of data centers also competes with other societal needs. Minerals required for AI hardware contend with those needed for renewable energy development, potentially hindering the green transition. In the U.S., companies like xAI are constructing gas-powered turbines for data centers, circumventing regulations and releasing thousands of tons of nitrogen oxides annually – pollutants detrimental to health and ecosystems. On a global scale, the energy demands of AI could redirect public funds away from social and environmental projects toward grid expansions, prolonging reliance on fossil fuels.

Conclusion. Despite these considerable challenges, the environmental trajectory of generative AI is not predetermined. As Olivetti and her colleagues argue in their 2024 paper, a comprehensive evaluation of costs versus benefits is crucial. UNEP's recommendations include standardizing impact metrics, requiring disclosures from companies, optimizing algorithms for energy efficiency, recycling resources, and integrating AI policies into broader environmental frameworks.

Transparency is vital: major providers often withhold energy data for proprietary models, impeding accurate assessments, unlike open-source alternatives.

In summary, while generative AI possesses significant potential for positive environmental impact – such as mapping methane emissions or optimizing resource utilization – its current trajectory remains unsustainable.

The technology's resource intensity, characterized by electricity-hungry data centers, water-dependent cooling systems, and mineral-heavy hardware, underscores the necessity for responsible development.

As the United Nations Environment Assembly prepared to address AI's impacts in December 2025, global stakeholders must prioritize sustainability.

By fostering regulations, promoting green innovations, and encouraging democratic oversight, we can leverage AI's benefits without compromising the health of our planet. The choice lies before humanity: to allow generative AI to serve as a tool for progress rather than a catalyst for environmental degradation.

References

1.Explained: Generative AI's environmental impact [Electronic resource]. – Mode of access: https://news.mit.edu/2025/explained-generative-ai-environmental-impact – Date of access: 25.02.2026

2.AI has an environmental problem. Here's what the world can do about that. [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.unep.org/news-and-stories/story/ai-has-an-environemntal-problem-here-what-the-world-can-do-about-that. – Date of access: 26.02.2026.

3.The environmental impact of AI and how to mitigate it [Electronic resource]. – Mode of access https://www.pwc.be/en/news-publications/2025/responsible-ai-environemntal-impact.html. – Date of access: 27.02.2026.

4.Understanding the Environmental Impact of Artificial Intelligence [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.snhu.edu/about-us /newsroom/stem/ai-environmental-impact. Date of access: 01.03.2026.

UDC 621.3.049.77:620.3

THE FUTURE OF MICRO – AND NANOELECTRONICS

Teslyonok A.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Markosyan E.I. – Cand. of Sci., Associate professor, Associate professor at the Department of Foreign Languages

Annotation. The article examines the future development of micro– and nanoelectronics in the context of the approaching physical and economic limits of Moore's Law. Key emerging technologies are analyzed, including two-dimensional materials (in particular InSe and 2D metals), neuromorphic computing, spintronics, three-dimensional heterogeneous integration (CFET, Forksheet) and advanced packaging solutions. The study highlights current challenges such as power consumption, heat dissipation and manufacturing scalability, while demonstrating how these innovations (including TSMC/Intel 2-nm processes 2025–2026 and wafer-scale InSe transistors) open new opportunities in artificial intelligence, quantum computing, energy-efficient systems and biomedical devices. It is shown that the transition to "beyond-CMOS" paradigms, supported by interdisciplinary research and international collaboration, will ensure transformative advances in electronics, increasing performance, sustainability and accessibility of next-generation devices.

Keywords: microelectronics, nanoelectronics, beyond Moore's Law, two-dimensional materials, neuromorphic computing, three-dimensional integration, spintronics, heterogeneous systems.

***Introduction*.** Micro– and nanoelectronics have been the cornerstone of technological progress for over five decades, powering everything from consumer devices to advanced computing systems. The exponential growth predicted by Moore's Law has driven unprecedented increases in transistor density, speed and energy efficiency. However, as device dimensions approach the atomic scale, traditional silicon-based CMOS technology is encountering fundamental physical limits, including quantum tunneling, heat dissipation and skyrocketing manufacturing costs [1]. Modern research is shifting toward "More-than-Moore" and "beyond-CMOS" paradigms that integrate novel materials, architectures and functionalities to sustain innovation [2]. This article explores the future trajectory of micro– and nanoelectronics, focusing on emerging technologies, their applications and the prospects for overcoming current barriers.

Main part. One of the primary challenges facing conventional microelectronics is the slowing of Moore's Law scaling [1]. At nodes below 3 nm, issues such as leakage current, parameter variability and thermal management become critical. In 2025–2026, leading companies such as TSMC and Intel are launching mass production of 2-nm (TSMC N2) and 20A/18A (Intel, 1.8 nm) processes. TSMC's N2 process utilizes gate-all-around (GAA) nanosheet transistors and delivers up to 15 % higher performance and 30 % lower power consumption compared to the 3-nm node, while Intel's 18A process introduces RibbonFET GAA transistors combined with PowerVia backside power delivery technology, reducing interconnect resistance by 30 % and improving energy efficiency by 25 % [4]. At the same time, research institutes (imec, CEA-Leti) are actively testing CFET (complementary FET) and Forksheet architectures. In CFET, n– and p-type transistors are stacked vertically with a common gate, achieving a 2× increase in transistor density at a 25 nm gate pitch. Forksheet technology adds dielectric isolation between n– and p-channels, further reducing parasitic capacitance and enabling sub-1 nm effective channel lengths [2].

To overcome these fundamental limits, researchers are intensively studying alternative materials and device concepts. Two-dimensional (2D) materials such as graphene, transition metal dichalcogenides (TMDs – MoS_2, WS_2), black phosphorus and especially the new "golden semiconductor" InSe possess atomic thickness (single layer ~0.7 nm), exceptional carrier mobility and a tunable bandgap (0.3–2.0 eV depending on layer number). In August 2025, a team from Peking University successfully fabricated the first 2-inch wafer-scale InSe films using metal-organic chemical vapor deposition (MOCVD). The resulting transistors demonstrated electron mobility of 287 $cm^2/V \cdot s$, a subthreshold swing of only 67 mV/dec and an energy-delay product already surpassing the IRDS 2037 roadmap targets for silicon [6]. In addition, the synthesis of the first true 2D metals (bismuth, tin, lead, indium, gallium) with a record thickness of 6.3 Å was recognized as

the Physics World 2025 Breakthrough of the Year. These 2D metals enable zero-Schottky-barrier contacts, eliminating a major source of contact resistance in ultra-scaled devices [7].

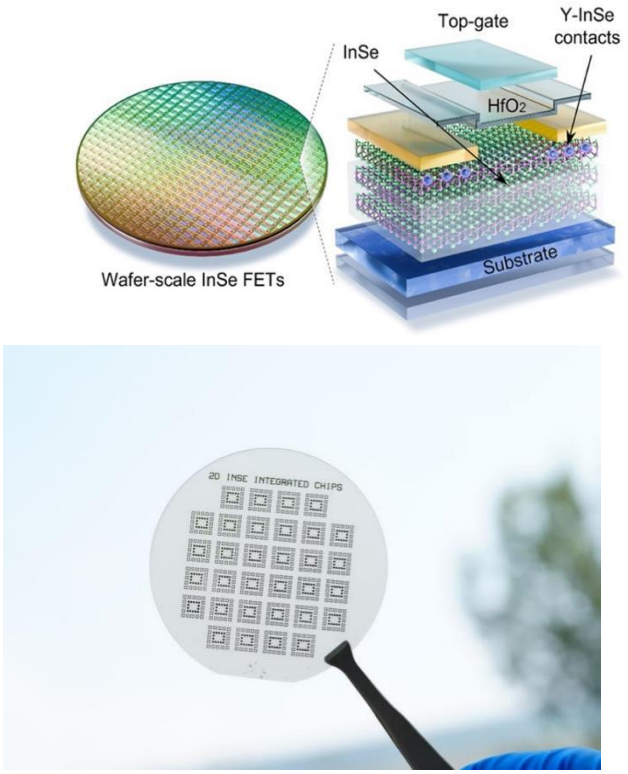


Figure 1 – Wafer-scale 2D InSe transistors (Peking University, 2025)

Another rapidly developing direction is neuromorphic computing, which emulates the architecture and principles of the human brain to achieve ultra-low-power information processing. Modern neuromorphic systems use 2D-material-based memristors, 3D crossbar arrays and photon-avalanching nanoparticles developed at Berkeley Lab (2025). These components enable true in-memory computing, eliminating the von Neumann bottleneck of constant data shuttling between memory and processor. For example, a 3D neuromorphic chip with 1 million memristive synapses can perform 10^{12} operations per second per watt – three orders of magnitude more energy-efficient than conventional GPUs [3]. Such solutions are especially promising for edge-AI applications in IoT devices, autonomous systems and biomedical implants, where power budget is limited to microwatts.

Spintronics represents a separate breakthrough area, using electron spin rather than charge for data storage and processing. Spin-transfer torque magnetic RAM (STT-MRAM) and spin-orbit torque (SOT) devices already demonstrate non-volatile operation, write energy below 1 pJ/bit and endurance exceeding 10^{15} cycles. Samsung and TSMC have integrated STT-MRAM into 7 nm and below processes for last-level cache, while hybrid CMOS-spintronic circuits allow simultaneous logic and memory functions with power dissipation reduced by 70 % compared to SRAM [5].

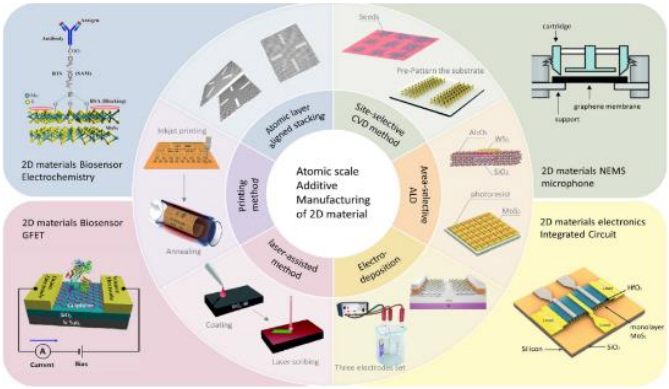


Figure 3 – 3D heterogeneous chip integration (DARPA and industry developments 2025)

The general scheme of future micro– and nanoelectronics development can be represented as a multi-stage process: from materials discovery and device prototyping through system-level integration and packaging to application-specific optimization and large-scale manufacturing.

Regarding the future prospects of micro– and nanoelectronics, the integration of advanced materials and architectures is still evolving, yet the potential is immense. As fabrication technologies mature, several key advancements are anticipated:

1 AI-Driven Design and Optimization: Machine learning algorithms will accelerate the discovery of new materials and circuit topologies, enabling rapid prototyping of custom devices tailored to specific applications.

2 Quantum and Neuromorphic Hybrid Systems: Combining classical nanoelectronics with quantum bits and brain-like processors will unlock unprecedented computational capabilities for complex simulations and AI training.

3 Sustainable and Low-Power Electronics: Focus on energy-harvesting nanomaterials and recyclable 2D devices will reduce the environmental footprint of electronics manufacturing and operation.

4 Biomedical and IoT Integration: Nanoelectronic sensors and implantable devices will enable real-time health monitoring and personalized medicine, while ultra-low-power chips will power the next wave of ubiquitous IoT networks.

***Conclusion*.** Thus, the future of micro– and nanoelectronics lies in overcoming the limitations of traditional scaling through innovative materials, architectures and integration strategies. Thanks to the introduction of two-dimensional materials (InSe, 2D metals), neuromorphic and spintronic devices, as well as advanced three-dimensional packaging technologies (CFET, 3D stacking), the industry is ready to offer more powerful, efficient and sustainable electronic systems. These achievements will not only ensure further technological progress but also open new horizons in computing, healthcare, energy and communications. Continued investment in research infrastructure, interdisciplinary collaboration and workforce training will be the key condition for realizing the full potential of nanoelectronics and maintaining global leadership in this critically important area.

References

1. The Future of Moore's Law: Are We Nearing the Limit? [Electronic resource]. Mode of access: https://patentpc.com/blog/the-future-of-moores-law-are-we-nearing-the-limit-latest-semiconductor-trends. Date of access: 30.03.2026.

2. Advancing microelectronics through nanoscale science [Electronic resource]. Mode of access: https://pubs.aip.org/aip/apr/article/12/4/041308/3368788/Advancing-microelectronics-through-nanoscale. Date of access: 25.03.2026.

3. Scientists shine new light on the future of nanoelectronic devices [Electronic resource]. Mode of access: https://www.anl.gov/article/scientists-shine-new-light-on-the-future-of-nanoelectronic-devices. Date of access: 26.03.2026.

4. Semiconductor and electronics industry trends 2025 [Electronic resource]. Mode of access: https://blogs.sw.siemens.com/electronics-semiconductors/2024/12/11/semiconductor-and-electronics-trends-2025/. Date of access: 27.03.2026.

5. The Future of Nanoelectronics: Trends and Predictions [Electronic resource]. Mode of access: https://semiconductorinsight.com/blog/the-future-of-nanoelectronics-trends-and-predictions/. Date of access: 27.03.2026.

6. New 2D material outperforms future silicon chips [Electronic resource]. Mode of access: https://www.futuretimeline.net/blog/2025/08/6-first-wafer-scale-fabrication-2d-indium-selenide-semiconductors.htm. Date of access: 30.03.2026.

7. Pioneers of 2D metals win the Physics World 2025 Breakthrough [Electronic resource]. Mode of access: https://physicsworld.com/a/pioneers-of-2d-metals-win-the-physics-world-2025-breakthrough-of-the-year/. Date of access: 30.03.2026.

UDC 004.75:336.74-028.27

THE ROLE OF CRYPTOCURRENCIES AND BLOCKCHAIN IN THE MODERN ECONOMY

Tyupko A.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Goncharova I.V. – Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This article is devoted to the contribution of cryptocurrencies and blockchain to the transformation of the world economy. It describes the basic principles of blockchain functioning, the evolution of major cryptocurrencies such as Bitcoin and Ethereum, as well as their practical application in the areas of decentralized finance, cross-border payments, and supply chain management. The study also analyzes the advantages of these technologies and their current limitations.

Keywords: cryptocurrencies, blockchain, DeFi, Bitcoin, Ethereum, smart contracts, stablecoins

***Introduction*.** In the modern digital economy, new technologies are actively developing. One of the main innovations of the 21st century is blockchain technology. This technology was introduced by the anonymous creator Satoshi Nakamoto in 2008 in the document "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System". Blockchain is a decentralized distributed ledger that stores transactions in a transparent and immutable way. Cryptocurrencies represent digital assets based on blockchain networks [1].

These technologies allow users to avoid intermediaries and reduce costs. Their role is not limited to speculative trading: they find application in banking, trade, and management. The purpose of this article is to analyze the impact of cryptocurrencies and blockchain on economic efficiency, identify the main trends in their implementation, and assess the prospects for development in the context of modern challenges.

Main part. Blockchain operates as a chain of blocks, where each block contains a set of verified transactions, a cryptographic hash of the previous block, and a timestamp. This mechanism ensures that changing one block requires changing all subsequent ones. Consensus mechanisms, such as Proof-of-Work or Proof-of-Stake, allow network participants to agree on the validity of transactions without a central intermediary [1, 2].

Launched in 2009, Bitcoin remains the main cryptocurrency. One of Bitcoin's distinctive features is its fixed maximum supply [1]. Ethereum, launched in 2015, supports smart contracts. Smart contracts are self-executing agreements that automatically execute when predefined conditions are met [2]. This technology forms the basis of decentralized finance (DeFi) and decentralized applications (dApps).

A critical evolution has been the emergence of stablecoins. Designed to solve the high volatility of assets like Bitcoin, these tokens are pegged to stable reserves, most commonly the US dollar. By maintaining a consistent value, they serve as a crucial bridge between traditional fiat currencies and the blockchain economy. This allows users in unstable economies to protect themselves from inflation by holding a dollar-pegged asset. However, this dual nature also exposes holders to a «double shock» risk: a stablecoin can lose value not only if its underlying fiat reserve collapses, but also if the crypto market experiences a crash or a technical failure of the issuing platform [5].

In the modern economy, cryptocurrencies play several key roles. First, they have made money transfers simpler and more accessible. Traditional money transfers can take 3–5 days and cost 5–7% in fees [3]. Crypto solutions, such as stablecoins or the Lightning Network for Bitcoin, allow almost instant transfers with low fees.

Second, blockchain increases transparency and efficiency in logistics chains and trade finance. Many large companies, such as BMW, use blockchain in logistics [4]. All stages – production, delivery, customs clearance – are recorded immutably, which reduces fraud, bureaucracy, and conflicts. This leads to faster customs clearance and lower operating costs.

Third, decentralized finance (DeFi) is capable of challenging traditional banking. As analysts of the Bank for International Settlements note, DeFi platforms such as Aave and Uniswap demonstrate steady growth, providing lending and trading without traditional intermediaries, which creates both new opportunities and possible risks for financial stability [5]. A key metric for this sector is the Total Value Locked (TVL), which represents the total assets deposited in DeFi protocols. As shown in Figure 1, the TVL has seen significant expansion, underscoring the sector's rapid growth [8].

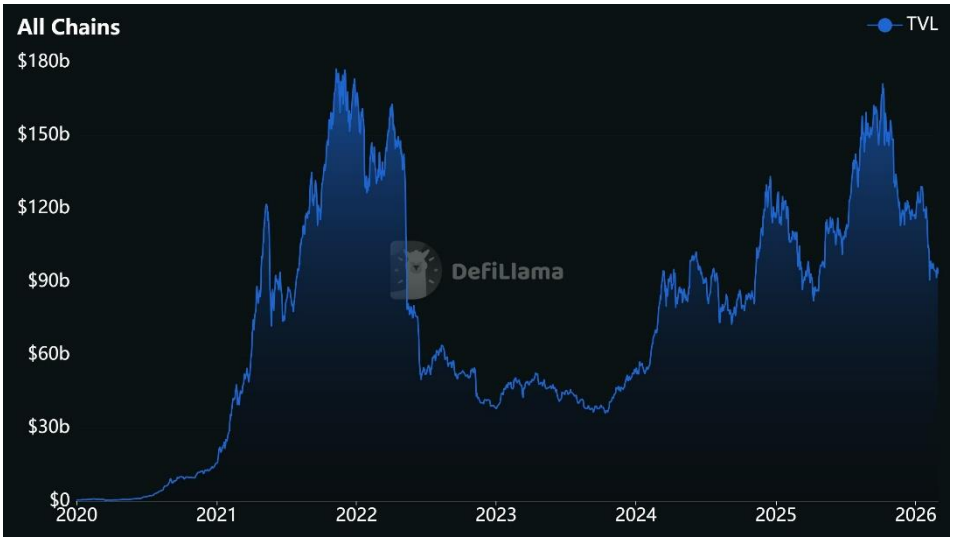


Figure 1 – Total Value Locked in DeFi, billion USD, 2020–2026.

However, blockchain and cryptocurrencies also bring new problems. Security risks, including exchange hacks and smart contract vulnerabilities, have led to losses of billions of dollars [6]. In addition, the pseudonymous nature of transactions raises concerns about money laundering and illegal financial activities, which prompts government regulators to introduce stricter “Know Your Customer” and anti-money laundering requirements [7].

Conclusion. The application of cryptocurrencies and blockchain has already significantly changed the modern economy. As technologies develop, blockchain will strengthen its role in logistics, and DeFi will pose an increasingly serious competition to traditional banks. However, further growth requires both improvements in security and legal reforms that can ensure the stability of the cryptocurrency market.

References

1. *Nakamoto S. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System [Electronic resource]. Mode of access: https://bitcoin.org/bitcoin.pdf. Date of access: 25.02.2026.*
2. *Buterin V. Ethereum Whitepaper: A Next-Generation Smart Contract and Decentralized Application Platform [Electronic resource]. Mode of access: https://ethereum.org/en/whitepaper/. Date of access: 25.02.2026.*
3. *Remittance Prices Worldwide [Electronic resource] / The World Bank. Mode of access: https://remittanceprices.worldbank.org/. Date of access: 26.02.2026.*
4. *Wendt A. BMW Group uses Blockchain to drive supply chain transparency [Electronic resource] / Andreas Wendt, Saskia Graser // Press release BMW Group. – Munich, 2020. Mode of access: https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0307164EN/bmw-group-uses-bl. Date of access: 28.03.2026.*
5. *Aquilina M., Cornelli G., Frost J., Gambacorta L. Cryptocurrencies and decentralised finance: functions and financial stability implications // BIS Papers No 156. April 2025 [Electronic resource]. Mode of access: https://www.bis.org/publ/bppdf/bispap156.pdf. Date of access: 27.02.2026.*
6. *Chainalysis. Collaboration in the Wake of Record-Breaking Bybit Theft [Electronic resource] / Chainalysis Inc. // Official website Chainalysis. – New York, 2025. Mode of access: https://www.chainalysis.com/blog/bybit-exchange-hack-february-2025-crypto-security-dprk/. Date of access: 01.03.2026.*
7. *Financial Crimes Enforcement Network (FinCEN). Application of FinCEN’s Regulations to Persons Administering, Exchanging, or Using Virtual Currencies: Guidance FIN-2013-G001 [Electronic resource] // U.S. Department of the Treasury. – Washington, D.C., 2013. Mode of access: https://www.fincen.gov/resources/statutes-regulations/guidance/application-fincens-regulations-persons-administering. Date of access: 01.03.2026.*
8. *DefiLlama. DeFi Dashboard & Crypto Analytics [Electronic resource] // DefiLlama. – Mode of access: https://defillama.com/. – Date of access: 28.02.2026.*

UDC 004.451.36

A REVOLUTION IN MEMORY SAFETY: A COMPARATIVE STUDY OF RUST, GO, AND MODERN C++ WITH CONTEMPORARY MEMORY PROTECTION MECHANISMS

Ustimchuk R. V., Shubaba M. I.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Alekseev V.F. – PhD, assistant professor, associate professor of the department of ICSD,
Lasarenko A.M. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This paper examines the problem of memory safety in systems programming and analyzes the evolution of approaches to addressing it in modern programming languages. A comparative study of memory management models and protection mechanisms implemented in Rust, Go, and modern C++ is conducted in terms of reliability, performance, and vulnerability prevention.

Keywords. Memory safety, systems programming, Rust, Go, C++, memory management, software vulnerabilities

***Introduction*.** In recent decades, software security has become one of the key tasks in the field of systems programming, since a significant portion of critical vulnerabilities is directly related to memory management errors [1,2]. Buffer overflows, use-after-free, double freeing of resources, and data races remain the main causes of failures and compromise of software systems, including operating systems, network services, and embedded platforms [1,2,3].

Traditional systems programming languages such as C and C++ provide the developer with a high level of control over resources; however, they place full responsibility for correct memory handling on the developer, which significantly increases the likelihood of errors in complex and large-scale projects [2,3]. In this regard, a stable trend has formed in the software industry toward transitioning to languages and technologies that ensure memory safety at the level of the language, compiler, and standard library [1,3].

The purpose of this work is to analyze modern approaches to ensuring memory safety and to conduct a comparative study of Rust, Go, and modern C++ in terms of the protection mechanisms used, their effectiveness, and their impact on the performance of software systems.

Main part. Systems programming languages such as C and C++ historically provided the developer with full control over memory, which made it possible to achieve maximum performance and precise resource management. However, this approach places all responsibility for correct memory handling on the programmer. Even with a high level of qualification, the probability of errors remains significant, especially in large and long-lived codebases [2,3].

In recent years, a steady shift has formed in the software industry toward the use of programming languages that provide built-in guarantees of memory safety [1,3]. This process is often characterized as a revolution in the field of memory safety, since it is aimed at eliminating entire classes of vulnerabilities at the level of the language, compiler, and standard library, rather than through external analysis and testing tools [1,2].

One of the most radical approaches is the model implemented in the Rust language. Memory safety here is ensured through a strict system of ownership, borrowing, and lifetimes of objects, verified by the compiler at the stage of transforming the program's source code into machine code or bytecode understandable to the processor [3,4,7]. Each value has a single owner, and borrowing rules prevent simultaneous unsafe access to data. As a result, errors such as use-after-free, double freeing of memory, and data races are impossible in safe Rust code [3,7].

A fundamentally important feature of Rust is the transfer of memory management correctness checks from the execution stage to the compilation stage [3,4]. This makes it possible to achieve high reliability without using a garbage collector and the associated overhead. When low-level operations are required, the language allows the use of unsafe blocks.

```
unsafe{
    //unsafe code block.
}
```

Figure 1 – Designation of an unsafe code block in Rust

However, they are explicitly marked and isolated, which reduces the risk of error propagation throughout the entire codebase [3,7].

The Go language implements an alternative approach based on automatic memory management using a garbage collector [8].

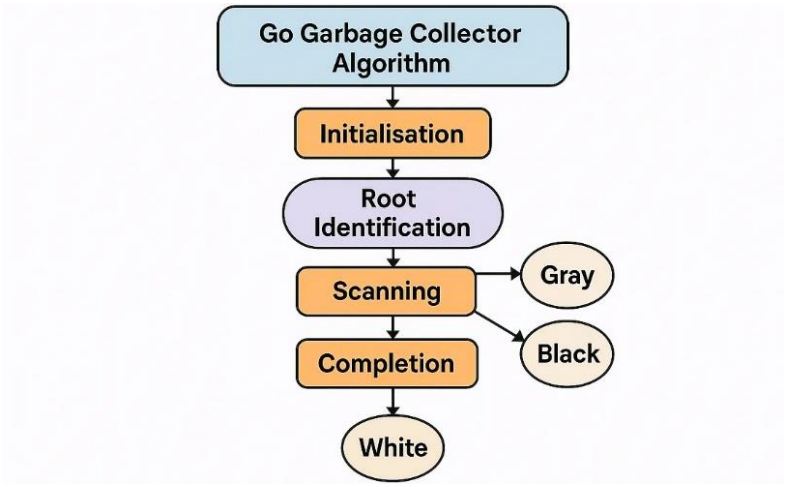


Figure 2 – Garbage collector algorithm in Golang

The developer is freed from the need to manually manage the lifetime of objects, which eliminates a number of errors typical for C and C++. Additional checks of array bounds and references are performed during program execution, which increases the overall robustness of applications [8].

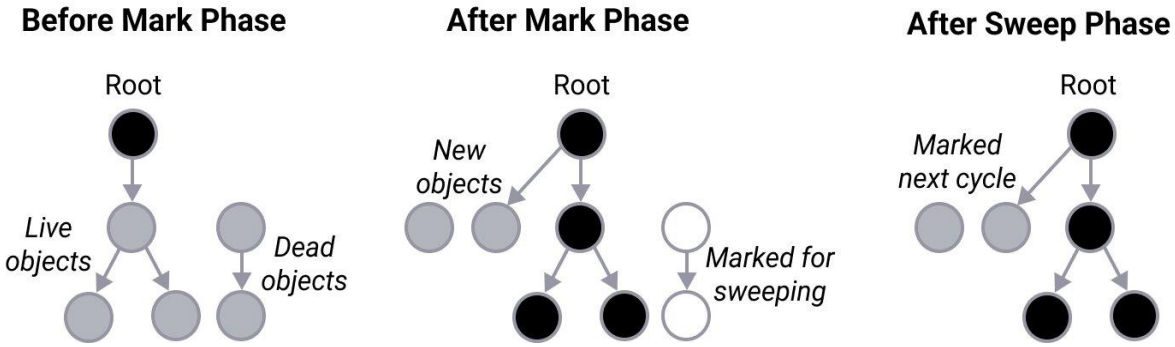


Figure 3 – Principle of garbage collector operation in Golang

The principle of the garbage collector operation is as follows: Mark: locating and marking all reachable objects from a set (for example, in the heap).

Sweep: traversing all objects in the heap, then erasing unreachable ones and returning them to the pool of free memory [8].

Despite the increase in safety, the use of a garbage collector in Go leads to runtime overhead and potentially unpredictable pauses, which may be critical for systems with strict latency requirements [6,8].

In addition, automatic memory management does not prevent logical data races; responsibility for synchronization still remains with the developer [8].

Modern C++ occupies an intermediate position between the classical low-level approach and languages with strict memory safety guarantees.

Mechanisms such as the RAII idiom, smart pointers, standard library containers, and a strict type system have been introduced into the language [2,7]. External static and dynamic analysis tools are also used, including sanitizers and formal analyzers [2].

However, the key limitation of C++ remains the absence of mandatory memory safety guarantees [2,7].

The use of protective mechanisms depends on developer discipline and project practices. This leads to the fact that even modern C++ projects remain vulnerable to classic memory management errors, especially when working with legacy code [2,3].

A comparative analysis of practical cases shows that transitioning to languages with guaranteed memory safety can significantly reduce the number of critical vulnerabilities.

Large technology companies, including Google, Microsoft, Cloudflare, and Discord, report a reduction in the number of security incidents after introducing Rust into system components [1,3,5,6].

From the performance perspective, Rust demonstrates results comparable to C++, and in a number of scenarios provides more stable latency due to the absence of a garbage collector [4,6,7]. Go, in turn, shows sufficient performance for most server and network applications; however, it is inferior to Rust and C++ in real-time systems and high-frequency workloads [6,8].

Conclusion. Thus, modern programming languages represent different philosophies for solving the problem of memory safety. Rust is focused on formal guarantees and error prevention at the compilation stage [3,4], Go – on simplifying development and automating resource management [8], and C++ – on maximum control and flexibility provided that the developer has high qualifications [2,7].

The revolution in the field of memory safety reflects a general shift in the industry toward preventing vulnerabilities at early stages of the software life cycle [1,2].

The choice of programming language should be determined by requirements for security, performance, and scalability, as well as acceptable trade-offs between control and reliability [7,8].

References

1. Rebert, A. Safer with Google: Advancing Memory Safety [Electronic resource] / A. Rebert, C. Carruth, J. Engel, A. Qin // Google Security Blog. – 2024. – Access mode: https://security.googleblog.com/2024/10/safer-with-google-advancing-memory.html. – Access date: 13.01.2026.

2. Gregory, J. Can memory-safe programming languages kill 70% of security bugs? [Electronic resource] / J. Gregory // IBM News – Security. – 2023. – Access mode: https://www.ibm.com/security/news/security-bugs. – Access date: 22.01.2026.

3. MSRC Team. Why Rust for safe systems programming [Electronic resource] // Microsoft Security Response Center Blog. – 2019. – Access mode: https://msrc.microsoft.com/blog/2019/07/why-rust-for-safe-systems-programming/. – Access date: 26.01.2026.

4. Yadav, A. Rust vs. C++ Performance: Analyzing Safe and Unsafe Implementations in System Programming [Electronic resource] / A. Yadav // ResearchGate. – 2025. – Access mode: https://www.researchgate.net/publication/388221456_Rust_vs_C_Performance_Analyzing_Safe_and_Unsafe_Implementations_in_System_Programming. – Access date: 03.02.2026.

5. Wu, Y. How we built Pingora, the proxy that connects Cloudflare to the Internet [Electronic resource] / Y. Wu, A. Hauck // Cloudflare Blog. – 2022. – Access mode: https://blog.cloudflare.com/how-we-built-pingora-the-proxy-that-connects-cloudflare-to-the-internet/. – Access date: 10.02.2026.

6. Howarth, J. Why Discord is switching from Go to Rust [Electronic resource] / J. Howarth // Discord Engineering Blog. – 2020. – Access mode: https://discord.com/blog/why-discord-is-switching-from-go-to-rust. – Access date: 15.02.2026.

7. Apriorit. Rust vs C++ Comparison [Electronic resource] // Apriorit – Technical Blog. – 2025. – Access mode: https://www.apriorit.com/tech-blog/rust-vs-cpp-comparison. – Access date: 15.02.2026.

8. JetBrains. Rust vs Go: Which one to choose in 2025 [Electronic resource] // The RustRover Blog (JetBrains). – 2025. – Access mode: https://blog.jetbrains.com/rust/2025/06/rust-vs-go-which-one-to-choose-in-2025/. – Access date: 12.02.2026.

UDC 004.021:004.056.55-083.74

THE DEVELOPMENT OF A CRYPTOALGORITHM BASED ON DOMESTIC STANDARDS

Vasilevsky I. P., Dobygin.M .D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Goncharova I.V. – Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. A symmetric cryptoalgorithm based on the GOST 28147-89 standard has been developed and implemented. The algorithm provides a high degree of plaintext dispersion and processing speed. The possibility of independent decryption of blocks has been implemented, which makes it possible to extract information in case of damage to individual parts of the ciphertext. The results are applicable in government agencies and backup systems.

Keywords: information security, cryptographic algorithm, symmetric encryption, domestic standards

Introduction. Cybersecurity is a major concern for businesses, governments, and individuals around the world. As cybercrime continues to grow, it is more important than ever to protect sensitive data. Encryption is an important tool to achieve this goal by converting data into encrypted text using a set of mathematical procedures known as an encryption algorithm. In this work, only the symmetric type of encryption will be considered, the most famous examples of which are DES, AES and the domestic GOST 28147-89.

Main part. GOST 28147-89 [1] [2] is a block cipher adopted as a standard for block encryption algorithms with a private key in 1989. The cipher proposed by GOST 28147-89 is built according to the same principles as the American DES, however, in comparison with DES, the domestic encryption standard is more convenient for software implementation. The main parameters of the cryptographic data conversion algorithm GOST 28147-89 are as follows: the block size is 64 bits, the key size is 256 bits, and the number of rounds is 32.

One of the algorithms for encrypting (decrypting) data of the GOST 28147-89 standard is the simple replacement mode. This is the simplest mode in which 64-bit data blocks are processed independently of each other.

Encryption by the GOST 28147-89 [1] standard in the simple replacement mode has both positive and negative sides. Positive ones:

1 Simplicity. For simple substitution encryption using the GOST 28147-89 algorithm, it is only necessary to split the data into blocks of 8 bytes each.

2 The possibility of parallelization. Since the blocks are not interconnected, nothing prevents the task from being distributed across multiple processor cores and processing multiple blocks at once.

3 Damage to a single block or a change in the sequence of blocks does not prevent decryption of the remaining blocks in the chain.

The main disadvantage of this mode is the preservation of the statistical features of the plaintext, since the same ciphertext blocks correspond to the same plaintext blocks.



Figure 1– Plaintext in the form of an image

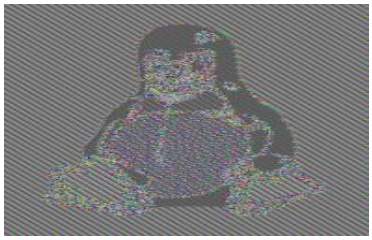


Figure 2 – Cryptogram obtained using the simple substitution mode



Figure 3 – Cryptogram obtained in a mode other than simple substitution

Let's look at the encryption process using the examples shown in Figures 1, 2, and 3. The first figure shows plaintext in the form of an image. The second figure shows a cryptogram obtained using the simple substitution mode, which shows the preservation of the statistical features of the plaintext, which makes encryption secure. To solve this problem, various modes have been invented, such as the ciphertext block coupling mode, ciphertext feedback mode, output feedback mode, and others [5]. While these alternative modes effectively address the issue of statistical pattern preservation, they introduce a new set of operational drawbacks. Their design inherently links ciphertext blocks to their predecessors, creating a dependency chain. The result of encryption using such modes is shown in Figure 3, where the original image structure is completely obfuscated. However, this security comes at a cost, as modern encryption (decryption) modes have the following problems, namely:

1 The inability to parallelize encryption/decryption. This significantly slows down the process of encrypting a large amount of data.

2 Changing the sequence of blocks or damaging a single block prevents decryption of the remaining blocks in the chain.

3 The complexity of the implementation. Such modes of operation are more difficult to create and require more calculations.

The conflict between the need for statistical dispersion and the desire to retain the operational benefits of parallelization and fault tolerance presents a significant challenge. The simple replacement mode offers speed and resilience but is cryptographically weak. Conversely, existing chaining modes provide robust security but sacrifice performance and data recovery capabilities. This situation motivated the search for a compromise solution that combines the strengths of both approaches.

The following cryptoalgorithm has been developed to solve these problems.

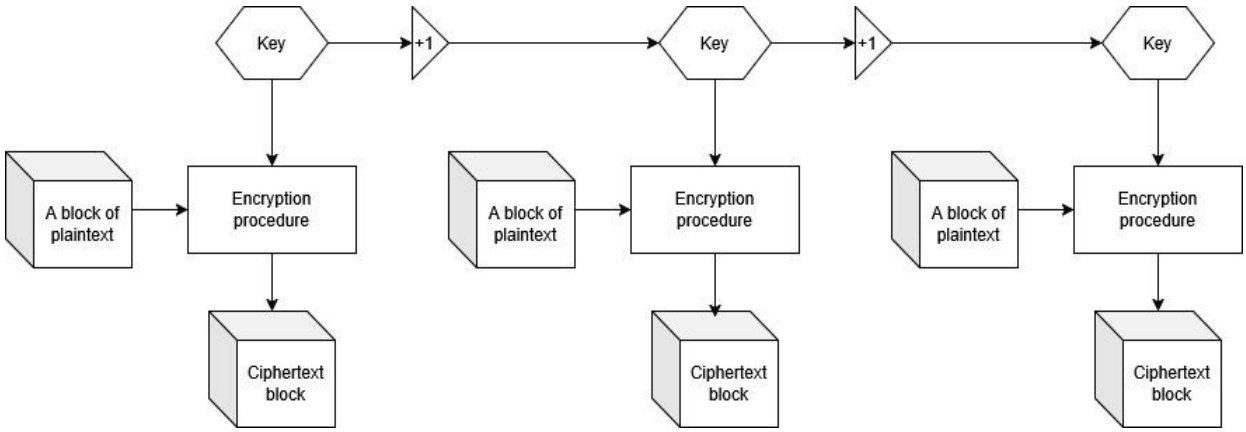


Figure 4 – Cryptoalgorithm

A key aspect of the proposed solution is the dynamic generation of the encryption key for each individual block. Instead of complicating the connections between blocks, this approach complicates the key material itself, making it unique for every segment of data. This ensures that even if the same plaintext block appears multiple times within a message, the resulting ciphertext blocks will be completely different, thereby eliminating statistical pattern leakage. Furthermore, by deriving the per-block key from a base secret using a simple deterministic function, the scheme retains the independent block processing characteristic of the simple replacement mode, preserving its advantages in parallel computing and fault tolerance.

Let P_i be the ith block of plaintext, C_i be the ith block of ciphertext, E – be the encryption procedure, k be the key, then

$$k_i = k_0 + i$$
$$C_i = E_k(P_i)$$

That is, one of the 2^{256} keys is generated for each block, which eliminates repetition on any practically achievable amounts of data. The decryption block diagram is analogous to the encryption scheme. This cryptoalgorithm has a number of advantages over those listed above:

1 The algorithm is simple to implement and does not require complex constructions.

2 Since the plaintext and ciphertext blocks are not connected to each other in any way, this allows you to distribute calculations between processor cores and increase the speed of both encryption and decryption.

3 Damage or modification of the sequence of individual blocks does not prevent the decryption of other blocks in any way.

To demonstrate the operation of the proposed cryptoalgorithm, a software implementation capable of encrypting and decrypting text data was developed. Thanks to it, it is possible to visually see the differences in processing speed using multithreaded mode and decryption of previously corrupted ciphertext. The program successfully decrypted the remaining part of the ciphertext.

Table 1 – Testing of the developed cryptoalgorithm

Mode	**Single-threaded**		**Multithreaded (4 threads)**	
Iteration	1	2	3	4
Encryption	19747ms	19786ms	5542ms	5501ms
Decryption	19986ms	19845ms	5453ms	5433ms

The practical significance of the developed cryptoalgorithm extends beyond mere performance metrics. Its architecture is particularly well-suited for modern distributed storage systems and cloud environments, where data is often fragmented across multiple physical locations. In such systems, the ability to decrypt surviving fragments independently– without relying on the integrity of the entire dataset– provides a critical layer of resilience against partial data corruption or loss. This fault-tolerant property, combined with the observed acceleration on multi-core processors, positions the proposed algorithm as a viable solution for high-load information systems where both security and availability are paramount.

Thus, the proposed cryptographic algorithm makes it possible to effectively disperse the statistical features of the text due to the changing key, and provides significant performance gains with an increase in the number of cores, which is confirmed by the results of experimental testing (Table 1). The algorithm's fault tolerance to damage to individual ciphertext segments was also confirmed, which is a critical factor for high-capacity data storage systems.

Conclusion. In the course of the research work, a symmetric cryptoalgorithm was developed and implemented, based on the domestic standard GOST 28147-89. It is important to note that the proposed cryptographic algorithm is compatible with any block ciphers, for example, AES, DES, «Grasshopper» or the BelT algorithm [4], which, according to STB 34.101.31-2020 [3], is mandatory for all organizations and enterprises of the Republic of Belarus in accordance with the requirements of the Operational Analytical Center under the President of the Republic of Belarus.

References

1. GOST 28147-89. Information processing systems. Cryptographic protection. Cryptographic transformation algorithm. Introduced 1990-07-01. Moscow: IPK Izdatelstvo Standartov, 1989. – 28 p.

2. Vinokurov, A. GOST 28147-89 encryption algorithm, its use and software implementation for Intel x86 platform computers. – Mode of access: https://kaf401.rloc.ru/Criptfiles/gost28147/GOST28147.htm – Date of access: 05.03. 2026.

3. STB 34.101.31-2020. Information technology and security. Cryptographic algorithms for encryption and integrity control. Introduced 2020-11-01. Minsk: Gosstandart, 2020. – 46 p.

4. Agievich, S. V., et al. BelT block cipher algorithm [Electronic resource]. National Research Center for Applied Problems of Mathematics and Informatics, BSU. – Mode of access: https://apmi.bsu.by/assets/files/agievich/BelT.pdf – Date of access: 05.03. 2026..

5. Babenko, L. K., & Ishchukova, E. A. Cryptographic information protection: symmetric encryption: Textbook. Rostov-on-Don: Southern Federal University Publishing House, 2015. – 220 p.

UDC 629.33:004.8

SELF-DRIVING CARS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE ON THE ROADS

Yatsevich G. V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Likhtarovitch I. I. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This article provides an overview of self-driving vehicles and associated artificial intelligence technologies. It examines sensor systems and AI algorithms used in autonomous cars, discusses the benefits of driverless vehicles, such as improved road safety and enhanced accessibility, and considers the technical, legal and societal challenges that affect the future development of automated transport.

Keywords. autonomous vehicles, artificial intelligence, machine learning, sensor fusion, LiDAR, road safety, ethics.

***Introduction*.** Road traffic accidents are one of the leading causes of death worldwide. The World Health Organization estimates that 1.19 million lives are lost per annum as a result of road traffic crashes [1].

Concurrently, rapid progress in the field of artificial intelligence has seen the emergence of autonomous vehicle technology from a concept reserved for science fiction toa reality. Also known as driverless cars, autonomous vehicles are one of the most revolutionary inventions of the 21st century andcouldseethousandsontheroadsby2030.

With this in mind, there is an ever-pressing need to evaluate the safety, legislation and societal effect of autonomous vehicles.

This paper aims to examine and present an overview of the infrastructure and AI used by an autonomous vehicle, the advantages, limitations, legislative concerns and ethical dilemmas associated with autonomous cars.

Main part. A self-driving car is an autonomous motor vehicle that is capable of understanding the conditions on the road around it and making driving decisions independently [1]. With the help of an onboard computer the vehicle will be able to detect the conditions, take decisions, and respond.

SAE International have defined the 6 levels of autonomous driving,0through5[2]. 0 and 1 are forms driving assistance where the human remains in full control of the car while levels 3 to 5 assign responsibility for driving to the vehicle, reaching full responsibility in level5.

Safe autonomy necessitates that the vehicle be capable of sensing and understanding its surroundings.

Contemporary AVs use suite of integrated, overlapping sensors to achieve this: cameras detect road signs and markings, radar effectively provides accurate distances and relative velocities even in poor weather conditions, LiDAR builds precise 3Drepresentations of the environment, and GPS data aligns all sensor inputs with high-definition, stored maps [3].Combining these sensors creates a complete, fault-tolerant, redundancy of world representation.

The second aspect of safe autonomy requires four steps from the AI once sensory data is captured. The four steps in order are:

1 Perception – which detects object classifications, pedestrian identification, lane detection etc.

2 Prediction – predicting behavior of others and vehicles in the surrounding environment.

3 Planning – calculating a desired path.

4 Control – which manipulates the steering wheel and accelerator/brake to implement the calculated path [4].

While the Perception and Prediction steps generally use deep learning (i.e. Convolutional Neural Networks) which has been trained on many billions of driving scenarios, path planning often uses reinforcement learning.

Safety remains the strongest driving force behind autonomous vehicles, as over 90% of traffic accidents are the result of human error (e.g. distracted driving, drowsy driving, driving under the influence). With the introduction of autonomous vehicles as a substitute and/or supplement to human drivers, crashes are expected to decrease.

Beyond safety considerations, accessibility represents a critical benefit to the older adults and individuals with physical disabilities, allowing them independence of travel. Through vehicle-to-vehicle communication congestion is reduced and occupants have the ability to be productive. Fuel efficiency gains are also predicted to decrease fuel use and pollution levels due to more optimized driving.

Despite their enormous potential, technical and societal hurdles abound for AVs. While currently, sensor performance plummets under weather conditions such as snow, fog and rain, edge cases – infrequently occurring circumstances that are disproportionately rare in an AI system's training set – remain a significant challenge for even sophisticated AVs.

A major technical hurdle for autonomous vehicles is the increased risk of cyber-attack, since the highly connected nature of Avs presents more points-of-entry through which attacks could occur to cause accidents or bringdown systems.

Although prices are expected to decrease considerably due to scaling in hardware, components such as LiDAR are still prohibitively expensive to purchase for individual consumers. High profile accidents have also damaged public perception of AV technology.

The ethical questions associated with autonomous vehicles go much further than those relating to the technologies used.

One of the most significant ethical dilemmas to overcome in relation to autonomous vehicles relates to the question of moral responsibility. If an accident involving an autonomous vehicle occurs, and it is impossible to avoid, who should be blamed: the manufacturer, the programmers, the vehicle owner or the autonomous system itself?

An experiment conducted by Bonnefon, Shariff and Rahwan showed that there are paradoxes in people's moral views regarding the programming of autonomous vehicles; whilst most people seem to agree with Utilitarianism and would choose an a decision-making system that minimises the overall number of deaths, no one seems willing to buy the car if its algorithm prioritizes an algorithm to kill its occupants [5].

This disparity in attitudes regarding self-interest versus the interests of others creates a substantial regulatory dilemma. There are very few established legal frameworks that outline liability for autonomous systems in any country; and international standards regulation, as well as transparency for autonomous algorithms have yet to be formed.

Conclusion. Transportation is being radically changed by artificial intelligence. Machine learning, sensing and computing advances are gradually bringing self-driving cars within the realm of possibility. These vehicles could have a transformative impact in making transport safer, more efficient and accessible. But realizing their full potential will require addressing tough technical, ethical, legal and social issues. Forward planning must involve governments, engineers, ethicists and society – to ensure a fair development and adoption of autonomous vehicles.

References

1. Global Status Report on Road Safety [Electronic resource] / World Health Organization. – Geneva : WHO Press, 2023. -– Mode of access : https://www.who.int/publications/i/item/9789240086906 -– Date of access : 25.03.2025.

2. Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles (J3016) [Electronic resource] / SAE International. – Warrendale : SAE International, 2021. -– Mode of access : https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104/ -– Date of access : 25.03.2025.

3. Grigorescu, S. A Survey of Deep Learning Techniques for Autonomous Driving / S. Grigorescu [et al.] // Journal of Field Robotics. – 2020. – Vol. 37, No. 3. – P. 362–386.

4. Goodfellow, I. Deep Learning / I. Goodfellow, Y. Bengio, A. Courville. – Cambridge : MIT Press, 2016. – 800 p.

5. Bonnefon, J. F. The Social Dilemma of Autonomous Vehicles / J. F. Bonnefon, A. Shariff, I. Rahwan // Science. – 2016. – Vol. 352. – P. 1573–1576.

UDC 004.8:004.775

THE ERA OF «AGENTIC AI»: WHEN CHATBOTS STARTED DOING THINGS

Yefimau M. I., Baulina I. P.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Perevyshko A. I. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. The article is devoted to the evolution of artificial intelligence (AI) systems from reactive models to autonomous agentic structures. Their main advantages are emphasized. Special attention is given to main characteristics and working principles of Agentic AI. It is pointed out the significance of further advances in the developing AI systems.

Keywords: Agentic AI, autonomous systems, iterative cycle, planning, multi-agent systems, digital transformation.

***Introduction*.** In the modern field of computer science, there is a fundamental transformation of artificial intelligence (AI) systems, characterized by a shift from reactive linguistic models to autonomous agent structures (Agentic AI). While previous iterations of large language models primarily operated within the «query-response» paradigm, generating text content based on statistical patterns, modern agent systems exhibit a distinct sense of agency [1]. The primary objective of this article is to analyze the mechanisms that transform AI from a passive information intermediary into an active digital actor capable of independently planning and executing complex tasks in dynamic environments.

Main part. A distinctive feature of agent-based AI is the presence of an architecture that ensures a closed loop of autonomous functioning [1]. Unlike standard chatbots, the agent's operational cycle includes the stages of environment perception, decomposition of a high-level goal into a sequence of subtasks, and selection of relevant tools. This iterative approach allows the system to interpret execution errors as feedback for optimizing its future strategy. The technological complexity of Agentic AI stems from the integration of several critical cognitive modules, including strategic planning based on chain-of-thought (CoT) reasoning and advanced tree-search algorithms. These algorithms allow the model to simulate multiple potential outcomes before committing to a specific digital action, effectively creating a «mental sandbox» for problem-solving. This simulation-based approach minimizes the probability of stochastic errors by evaluating the syntactic and semantic validity of a planned action before its actual deployment in the production environment.

The use of external vector data stores, often implemented through Retrieval-Augmented Generation (RAG), combined with a short-term context window, enables the accumulation of experience and the preservation of long-term system states [4]. Furthermore, the synchronization between episodic and semantic memory modules allows the agent to generalize from previous experiences, thereby reducing the computational cost of repetitive task planning. This dual-layer memory architecture is crucial for maintaining consistency across long-duration tasks that may span several days or involve thousands of individual sub-steps [6]. Furthermore, the implementation of «self-reflection» loops allows the agent to critique its own intermediate outputs. If a generated solution fails to meet predefined logical constraints, the agent can autonomously trigger a correction cycle, bypassing the need for human intervention.

The most important element is the action space, which is a set of software interfaces for interacting with the external world. This includes code execution in isolated «containerized» environments, direct API interaction, and autonomous navigation in browser-based interfaces. The robustness of the action space is further enhanced by the implementation of feedback-driven wrappers that translate raw system outputs into structured data, suitable for the model’s internal perception module. These capabilities are complemented by a continuous monitoring module that tracks changes in the external environment, ensuring the agent can adapt to real-time data fluctuations. As agents move from sandboxed environments to production-level systems, the necessity for robust «Guardrails» becomes paramount. These are programmatic constraints that prevent the agent from

executing high-risk or irreversible commands, such as unauthorized financial transactions or critical system deletions, without explicit supervisor approval [7].

Special attention should be paid to the development of multi-agent systems (MAS), where problem-solving is achieved through the orchestration of multiple specialized models. In such ecosystems, there is a rigorous division of cognitive labor: separate modules are responsible for generating solutions, performing adversarial critical analysis, and managing resource coordination. This modularity not only increases the reliability of the system but also allows for the integration of heterogeneous models, where each agent is optimized for a specific domain [4]. This shift from individual processing to collaborative cognitive labor necessitates the development of standardized inter-agent communication protocols to prevent logical conflicts and deadlocks during collective problem-solving.

The deployment of Agentic AI also faces the critical challenge of balancing reasoning depth with operational latency. High-level planning requires significant computational overhead, which can lead to delays in execution. To optimize this, modern architectures are adopting a hierarchical approach where a lightweight model manages routine subtasks, while a more sophisticated «orchestrator» handles strategic decision-making [5]. Empirical data suggests that such hierarchical structures significantly reduce the inference latency, making autonomous agents viable for real-time applications in telecommunications and automated financial trading. This division of labor ensures that the system remains responsive while maintaining its ability to solve complex, non-linear problems.

Furthermore, the issue of «explainable agency» is becoming central to the development of trusted autonomous systems [4]. As agents begin to operate in high-stakes environments, it is no longer enough for the system to simply produce a result. It must provide a transparent, human-readable audit trail of its internal reasoning process. This transparency allows human supervisors to intervene if the agent's logic begins to drift toward unintended or risky shortcuts, ensuring that the AI's goals remain strictly aligned with human intent.

In addition to internal logic, the scalability of agentic systems is increasingly dependent on cloud-native integration and distributed computing [7]. By leveraging containerized microservices, agents can dynamically scale their processing power depending on the complexity of the task at hand. This framework is essential for industrial-scale automation where reliability and resource efficiency are the primary benchmarks of success. The integration of these systems into corporate infrastructures also necessitates a rethinking of digital identity. As agents act on behalf of users, the boundaries of legal and technical responsibility become blurred [2]. The problem of goal alignment becomes central, requiring the agent to consider ethical and operational constraints rather than simply finding the shortest path to a result

***Conclusion*.** The analysis confirms that the era of agent-based AI marks a significant leap forward in the development of automation technologies. The transformation of AI from a tool into an autonomous agent changes the nature of human-machine interaction, shifting the focus from detailed instructions to goal-setting management. This transition represents a move toward «Artificial General Intelligence» (AGI) characteristics within specialized domains. The future of this field will depend on the scientific community's ability to ensure the transparency of decision-making algorithms and create architectures that combine high autonomy with guaranteed predictability and safety in dynamic digital environments.

References

1. What is agentic AI? [Electronic resource]. − Mode of access: https://cloud.google.com/discover/what-is-agentic-ai#agentic-ai-versus-generative-ai. − Date of access: 14.02.2026.

2. What is agentic AI? [Electronic resource]. − Mode of access: https://cloud.google.com/discover/what-is-agentic-ai#agentic-ai-versus-generative-ai. − Date of access: 21.02.2026.

3. Agentic AI, explained [Electronic resource]. − Mode of access: https://mitsloan.mit.edu/ideas-made-to-matter/agentic-ai-explained. − Date of access: 01.03.2026.

4. What is agentic AI? [Electronic resource]. − Mode of access: https://aws.amazon.com/what-is/agentic-ai/. − Date of access: 02.03.2026.

5. What is agentic AI? [Electronic resource]. − Mode of access: https://cloud.google.com/discover/what-is-agentic-ai#agentic-ai-versus-generative-ai. − Date of access: 18.02.2026.

6. The Next "Next Big Thing": Agentic AI's Opportunities and Risks [Electronic resource]. − Mode of access: https://scet.berkeley.edu/the-next-next-big-thing-agentic-ais-opportunities-and-risks/. − Date of access: 19.02.2026.

7. Deploying Agentic AI − What Worked, What Broke, and What We Learned [Electronic resource]. − Mode of access: https://realworlddatascience.net/applied-insights/case-studies/posts/2025/08/12/deploying-agentic-ai.html. − Date of access: 20.02.2026.

UDC: 004.932:339.166.82

ENHANCING RETAIL OPERATIONS THROUGH COMPUTER VISION

Zhitnikova D.S., Zaitseva S.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Goncharova I.V. – Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This article discusses the application of computer vision in modern retail, focusing on automated shelf monitoring, queue management, customer traffic analysis, and checkout-less stores like Amazon Go. The study shows how these technologies detect empty shelves, ensure compliance with planograms and optimize the layout of stores. By processing visual data locally and sending only anonymous statistics, computer vision systems solve privacy issues. The findings suggest that retailers implementing these solutions gain a competitive advantage by reducing waste, increasing customer loyalty, and optimizing store layouts based on data.

Keywords: computer vision, retail, AI in retail, planogram compliance, IoT, queue management, heat maps, edge computing, retail automation

***Introduction*.** Retail is a dynamic and growing industry that is facing some changes due to the development of artificial intelligence (AI). Retailers collect and process large data sets, such as sales records, data lists, and customer reviews. With advanced technology, retailers can gain valuable insights into buyer behavior, improve inventory management, and improve service levels. These technological changes contribute to the adoption of computer vision, which can take retail to the next level.

Main part. Computer vision (CV) is a general term that refers to sections of machine learning models whose purpose is to extract information from Visual Media. Currently, 44% of retailers use CV to improve customer service. By 2030, this industry is expected to grow by 45%. Computer vision's capabilities are transforming various types of retail operations, from logistics to advertising [1].

In retail, computer vision helps retailers see what is currently happening on the trading floor. The system receives data in real time, and the program analyzes it, for example, identifying where there are long queues at the checkouts, where there are empty shelves, or which goods are most in demand. In this process, none of the customers notices that they are being watched, that is, the introduction of this technology does not prevent anyone from walking and choosing goods, but at the same time the store receives a lot of useful information.

One of the main reasons for the loss of profits in retail is the lack of goods on the shelf at the moment when the customer is ready to buy them. The usual methods of inspection, in which an employee goes around the hall with the form and manually checks the presence of the goods, are time-consuming, which is inefficient. CV technology can automate this process by constantly monitoring the shelves and comparing them with digital planograms-display diagrams of goods. Using in-store cameras that are installed on the ceiling or shelves, CV models detect empty spaces on the shelves, incorrect distribution of goods, or missing tags, comparing the current layout with the original planogram.

If the cameras detect inconsistencies, the system automatically sends a notification to the staff about this error, indicating a specific government and the place where the product is located [2]. In addition, the system can analyze how competently the product is laid out on the shelves, taking into account the demand of customers. That is, popular and promotional goods should not be on the bottom shelf or in the far corner of the store, it is recommended to place them in a more passable place at eye level, and less popular ones can be placed higher or lower.

The integration of computer vision with Internet of Things (IoT) technologies opens up new possibilities for automating routine processes in retail.

Robots equipped with computer vision systems are able to perform a large list of tasks related to the maintenance of the store. In addition to automatic cleaning of premises, they can control the temperature regime in refrigerators to prevent spoilage of products, as well as check the compatibility of signs and advertisements based on marketing actions. These robots act as mobile sensors in the IoT system, constantly collecting data about the status of the point of sale. Information from a network

of sensors located throughout the store allows management personnel not only to respond to existing problems, but also to find and prevent potential failures in advance, before they even appear, which will significantly reduce maintenance costs and improve the quality of Service.

One of the biggest irritants for customers in the store is the long wait at the checkout. At the moment, there is already one solution to this problem-self-service cash registers. Thanks to this technology, queues have decreased significantly, but a short circuit allows you to automate the process of purchasing goods even more. Cameras analyze the length of the queue and can notify the administrator in advance about the need to open a new ticket office. It is also possible to predict the time of accumulation of queues. The System collects data and analyzes which days and hours typically have the most buyers. If the program notices that there will be a rush hour in the near future, it asks the administrator in advance to open additional cash registers. But there is also a more radical method.

In Amazon Go there are no cash registers, they have been replaced by CV. After entering the store, the customer scans the application, and then can take goods from the shelves, which are added to the virtual basket associated with the account. After leaving the store, the system automatically withdraws money from the card and sends a check to the email. This store has a system installed that uses computer vision, weight sensors on the shelves and deep learning algorithms. This means that the ceiling cameras and sensors on the shelves determine what you have taken or put away [3]. In shops there are no basic cash registers and sellers, there are only employees who help to check documents for alcohol and take care of order. Thus, going shopping turns into a quick and pleasant process, in which you just need to take the goods and put them in the basket.

Technology is able not only to capture specific problems, but also to analyze buyer behavior. This can be achieved through motion analysis and heat maps. Analysis of the flow of buyers, which is obtained using artificial intelligence, helps sellers understand how many customers visit the store and how they move in it. With sensors, cameras and advanced technologies such as short-circuit and machine learning, buyer flow analysis tracks customers' travel paths, the products they choose and the time they spend in different departments of the floor.

This technology provides detailed heat maps that indicate areas with high traffic, allowing retailers to calculate the location of hot and dead zones in the store layout. Where exactly the main paths that buyers follow are immediately visible: hot zones are highlighted in red, orange and yellow, and dead zones in blue. Knowing the location of these zones, sales managers will be able to competently arrange new stands with stock goods. Thanks to this, employees will be able to see where to move the goods, if necessary, so that they are most in demand.

Of course, privacy is an important issue, many customers are worried about this problem. People are afraid that cameras will monitor every step.

But modern CV systems use edge computing technology, that is, processing takes place directly in the camera, and then only the digital data goes to the cloud or server: how many people have passed, where they stopped, which shelves are empty. Personal data of customers shall remain confidential [4].

***Conclusion*.** Computer vision is rapidly transforming the retail industry, enabling companies to reduce losses, increase customer loyalty and streamline the layout of showrooms based on Heat map data. However, with new technological advances, retailers need to master new areas of data privacy and technology investment. By understanding and solving these problems, merchants can harness the power of advanced technology, creating the basis for more efficient and customer-oriented work in the future.

References

1. Computer vision in 2024: Main tasks and directions. Mode of access: https://habr.com/ru/companies/otus/articles/810207/. Date of access: 27.02.2026.

2. Mirgorodskaya, O. N., Ivanchenko, O. V. The use of artificial intelligence technologies in the marketing activities of foreign and Russian retail companies // Bulletin of the Russian State Economic University (RINH). – 2021. – № 3 (75). – Pp. 84-93.

3. Artificial intelligence: how AI is changing retail [Electronic resource]. Mode of access:_https://masterokk.ru/iskusstvennyjintellekt/kak-iskusstvennyj-intellekt-menyaet-roznichnuyu-torgovlyu.html. Date of access: 13.02.2026.

4. AI Flying Off the Shelves: Restocking Robot Rolls Out to Hundreds of Japanese Convenience Stores. Mode of access: https://blogs.nvidia.com/blog/telexistence-convenience-store-robotics/. Date of access: 26.01.2026.

UDC 004.775

THE «FILTER BUBBLE» EFFECT: HOW RECOMMENDATION ALGORITHMS SHAPE OUR WORLDVIEW AND LIMIT SERENDIPITY

Zinkovsky A.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Perevyshko A.I. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. The article is devoted to the problem of the «filter bubble» effect in the Internet. Various definitions of this term are given. Special attention is given to the advantages and disadvantages of these recommendation systems. It is also pointed out the significance of using these recommendation algorithms in forming views of network users.

Keywords: recommendations, algorithms, social media.

***Introduction*.** Today, few people doubt the effectiveness of recommendation systems in commerce, as they have become an integral part of the global digital economy and a major factor in attracting consumers. The Internet has provided users with access to a rich information environment, offering almost limitless possibilities for data consumption. However, a lot of controversy arises around the harm of recommendation systems for users and their potential long-term psychological impact. Many researchers claim that these algorithms contribute to selective perception of information and, as a result, the formation of an information bubble around the user, which limits their perspective. Given the ambiguity of this issue and its growing relevance in our daily lives, it is important to understand the facts and find out how recommendation algorithms actually affect the worldview of netizens in the long run to develop strategies for balanced information consumption.

Main part. The term «filter bubble» was first proposed by Elie Pariser in 2011 in his work of the same name. Originally, the term described how effectively personalized recommendations can restrict users from different points of view or content that is at odds with their preferences, effectively creating a customized reality. Recommendation systems based on algorithms determine which content the user prefers by analyzing their previous behavior, and based on this data, websites show him only the information that corresponds to his interests, while the rest of the information with an alternative point of view is not displayed to the user or is pushed to the periphery. In the course of further research, other definitions of this term have been proposed to better capture the complexity of the phenomenon. So, the «filter bubble» effect can be represented as a focused impact of content corresponding to user preferences, forming a sort of digital echo chamber. Researchers from the University of Michigan have proposed to define the filter bubble effect as a continuous process, and it increases when people with different preferences increasingly consume different types of content, leading to a gradual divergence in their understanding of the world [4]. In this article, we will focus on the initial definition of this term to maintain clarity in our analysis.

In his work, Elie Pariser considers recommendation algorithms as a factor that negatively affects not only an individual, but also society as a whole, creating a fragmented social landscape. In his opinion, the filter bubble can undermine civil discourse and create a threat to democracy by exposing people to various kinds of propaganda and manipulation, as users lose the ability to encounter and debate opposing views [3].

Many studies speak about the effectiveness of recommendation systems from a purely business and technical perspective, emphasizing their ability to optimize user experience. For example, Amazon claims that 35% of their sales were made thanks to recommendation algorithms, which demonstrates their immense commercial power and influence on purchase decisions. Netflix claims that 75% of their users use recommendations. Political scientist Tetlock found that ordinary people often make more accurate predictions than experienced political scientists. This is because experts who study one topic in depth often find themselves inside an information Bubble, becoming victims of their own specialized focus and narrow data sets [1].

These claims can be confirmed by various studies in the fields of psychology and sociology. First of all, this effect is explained by the theory of cognitive dissonance, which is fundamental to understanding human behavior. According to this theory, when conflicting beliefs collide, a person

has an internal conflict and, as a result, he experiences unpleasant emotions such as stress or anxiety. To reduce this unpleasant psychological state, people seeking information are motivated to seek information consistent with their beliefs and to avoid or discredit information that contradicts them, thus protecting their existing worldview [2]. Thus, even when opposing points of view are presented side by side, people still prefer to choose information that confirms their existing views rather than challenging them.

In addition to this factor, the degree of involvement in the subject of the study plays an important role in how the user perceives information. Research shows that people with low engagement in a topic tend to pay more attention to secondary factors, such as other people's consent or the source of information [2].

However, it should be noted that not all users blindly or without critical consideration follow the recommendations of the system. Research has shown that the importance of a topic, personal interest, confidence and conviction of the user, that is, the level of engagement in the topic, can greatly contribute to access to information that challenges attitudes [2]. In other words, this indicates that as people's interest and awareness of a topic increases, they may become more motivated to explore different opinions in order to form a more reliable and comprehensive understanding of reality. But this does not necessarily mean that it is easier for such users to recognize competing points of view objectively. On the contrary, people involved in a particular topic tend to analyze information more carefully and change their attitude only when they consider the arguments to be extremely and logically sound.

Although this perception of diverse information does help reduce polarization among people, high engagement makes their attitudes more stable. With information representing different points of view, people can more carefully argue their point of view, which makes it more stable and resistant to change. This is also supported by research that proves that although algorithms can introduce some diverse content, they preferentially reinforce pre-existing preferences, acting more as an amplifier than a neutral filter [4] .However, many researchers note that recommendation algorithms do not always harm users and can actually be beneficial in many contexts. For example, there are studies that have shown that recommendation algorithms introduce consumers to more diverse news than they could find on their own, through traditional browsing habits [4]. By breaking the usual search patterns, algorithms can sometimes offer unexpected information. Recommendation systems can also help users learn something new.

***Conclusion*.** Thus, the «filter bubble» effect is not an exclusively negative phenomenon, but a complex interaction between technology and psychology. Information bubbles arise not so much because of recommendation systems, but due to the human psyche, which avoids contradictory information out of a natural desire for cognitive comfort. The filter bubble effect is not an independent cause of information isolation, but a reinforcing factor that accelerates existing tendencies. Recommendations can isolate users from alternative information and strengthen the bubble, especially when the user is passive. But with higher engagement, they provide access to new information and can serve as a tool for discovery. However, the issue remains controversial and requires further discussion both in the scientific community and among ordinary Internet users who interact with these systems daily.

References

1. Nguyen, T.T. Exploring the filter bubble: the effect of using recommender systems on content diversity / T.T. Nguyen [et al.] // Proceedings of the 23rd international conference on World wide web, Apr. 7–11, 2014. / Association for Computing Machinery ; ed. C.-W. Chung – New York, 2014. – P. 677-686.

2. Liao, Q.V. Beyond the filter bubble: interactive effects of perceived threat and topic involvement on selective exposure to information / Q.V. Liao, W.-T. Fu. // CHI '13: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 27 Apr.–2 May, 2013 – Association for Computing Machinery ; ed. W.E. Mackay – New York, 2013. – P. 2359 – 2368.

3. Breaking the filter bubble: democracy and design [Electronic resource]. // Springer Nature Link. – Mode of access: https://link.springer.com/article/10.1007/s10676-015-9380-y#Abs1. – Date of access: 18.12.2015.

4. Anwar, M.S. Filter Bubble or Homogenization? Disentangling the Long-Term Effects of Recommendations on User Consumption Patterns / M.S. Anwar, G. Schoenebeck, P.S. Dhillon. // WWW '24: Proceedings of the ACM Web Conference 2024, May 13–17, 2024 / Association for Computing Machinery ; ed. T.-S. Chua – New York, 2024. –P. 123 – 134.

UDC 004.89:331.5

THE INFLUENCE OF NEURAL NETWORKS ON THE CURRENT JOB MARKET

Solovey A.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Lasarenko A.M. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. The article examines how neural networks and artificial intelligence influence the current job market. It considers job displacement, the creation of new roles, statistical forecasts, and the need for workers to develop skills that complement AI technologies.

Keywords: neural networks, artificial intelligence, job market, employment, automation

Introduction: A Double-Edged Sword

Over the course of the last couple of years, neural networks have become an undeniable part of our lives. Their capabilities are growing rapidly, leaving those who lack adaptive skills behind in terms of effectiveness across a wide variety of job fields. As artificial intelligence advances, it becomes increasingly evident that its existence in its current state has a profound impact on the job market. With all that being said, it is necessary to understand the true scale of this transformation.

However, before we begin our investigation, we must ask ourselves a fundamental question: is this a problem or an opportunity? We know that through the mastery of AI, many people have been let go, but that statement alone does not mean the state of the job market has worsened. AI has also created new professions and optimized numerous manual tasks that people previously disliked doing themselves. AI assists individuals in writing and applying for jobs, creating opportunities that were never available before. Some have used AI to generate income, while others have leveraged it not only to make money but to build companies—and those companies, in turn, have created demand for more jobs. For these reasons, I argue that the influence of artificial intelligence on the current job market is controversial yet debatable. Its advantages, in many ways, balance out its disadvantages.

Review of Statistical Data

To ground our analysis in empirical evidence, we review studies that demonstrate the actual effects of AI development on key metrics such as salary, number of job openings, and employment trends.

According to statistics from Challenger, Gray & Christmas, Inc.:

"In 2025, companies referenced AI for 54,836 announced layoff plans, 5% of total cuts during the year. Since 2023, when this reason was first tracked, AI has been cited in 91,753 job cut announcements, approximately 3% of all layoff plans announced in that period."

While these figures may seem concerning, it is equally important to acknowledge the positive aspects of this transformation. Additional data from the *World Economic Forum* (WEF) provides a broader perspective:

– 92 million jobs could be lost to AI by 2030.

– However, AI could create 170 million new jobs.

– AI could already replace 11.7% of the US workforce, equivalent to $1.2 trillion in wage value.

– High earners are most concerned about AI taking their jobs.

– 47% of all US workers could see their roles come under threat from AI in the next decade.

– Automating half of current tasks worldwide could take another 20 years.

– 60% of jobs in advanced economies are at risk of being replaced by AI.

– Yet only 26% of jobs in low-income countries are similarly exposed.

– Only 3% of workers with less than a high school diploma are in work considered "most exposed" to AI job losses.

– Workers aged 18–24 are 129% more likely than workers aged over 65 to worry that AI will make their job obsolete.

– 15% of workers in the US would consider having an AI boss.

Analysis of Key Statistics

The implications of these statistics are examined below.

The projection of 92 million jobs lost represents approximately 8% of the global workforce. While this figure may initially seem discouraging, it is crucial to recognize that most of these "lost" jobs are likely to be concentrated in professions most vulnerable to automation via generative AI tools, such as clerical work, writing, photography, and software development.

Nevertheless, the World Economic Forum's 2025 Future of Jobs Report offers a more balanced outlook. It predicts that job losses due to AI and other labor market transformations over the next five years will be more than offset by job gains. The report forecasts 170 million new roles—equivalent to 14% of the current workforce—resulting in a net global increase of 78 million jobs. This data partially supports the view that AI represents an opportunity rather than a primary cause for concern.

Many of these statistics are derived from US workers. Given that their society often reflects trends that may emerge in other countries. These foreign studies are used as a reference, as more comprehensive research on this topic is currently available abroad. In our own professional context, AI adoption is still relatively limited, but we are increasingly moving toward more frequent use, mirroring global trends.

A Critical Perspective on Risk

The statistic stating that 60% of jobs in advanced economies are at risk of being replaced by AI warrants closer scrutiny. Upon thorough consideration, the percentage and its implications may be misleading.

In the majority of countries with advanced economies, the service sector constitutes approximately 50% or more of total employment. The primary driver of this sector is intellectual output rather than manual labor. This is precisely why many fear that AI is "smarter" than humans (Figure 1). However, the main strengths of the human mind remain creativity and critical thinking. AI remains highly dependent on human input, guidance, and oversight. If an individual possesses genuine expertise and creative problem-solving abilities, no AI can fully replace them.

Conclusion

In conclusion, the influence of neural networks on the job market is neither purely destructive nor entirely beneficial. It is a transformative force that redefines existing roles while simultaneously creating new opportunities. The evidence suggests that while certain jobs will inevitably be displaced, the net effect—when viewed through a global, long-term lens—may be positive. The challenge, therefore, lies not in resisting AI but in adapting to it, fostering skills that complement technological advancements, and ensuring that the workforce is prepared for the evolving demands of the future economy.

References

1. Challenger, Gray & Christmas, Inc. (2026) *2025 Year-End Challenger Report: Highest Q4 Layoffs Since 2008; Lowest YTD Hiring Since 2010* [Electronic resource]. Mode of access: https://www.challengergray.com/blog/2025-year-end-challenger-report-highest-q4-layoffs-since-2008-lowest-ytd-hiring-since-2010/. Date of access: 15.05.2026.
2. Leopold T., Di Battista A., Játiva X., Sharma S., Li R., Grayling S. (2025) *The Future of Jobs Report 2025* [Electronic resource]. Mode of access: https://www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2025/. Date of access: 15.05.2026.

Научное электронное издание

Материалы 62-й научной конференции аспирантов,
магистрантов и студентов БГУИР

по направлению

ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

(Республика Беларусь, г. Минск, 13–17 апреля 2026 года)

В авторской редакции
Ответственный за выпуск *Г. А. Пискун*
Компьютерная верстка:
А. Д. Ларькин
А. А. Малец
К. О. Прохоревич
К. Н. Баранова

Системные требования: программа для просмотра PDF-файлов.
Дата подписания к использованию 04.06.2026.
URL: https://www.bsuir.by/ru/fkp/sntk.
URL: https://libeldoc.bsuir.by/handle/.
Объем издания: 66 Мбайт.
Производитель электронного издания: учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».
Ул. П. Бровки, 6, 220013, г. Минск.
Сайт: www.bsuir.by

ФАКУЛЬТЕТ КОМПЬЮТЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Основной образовательной деятельностью факультета компьютерного проектирования (бывший конструкторско-технологический факультет) вот уже более 40 лет является подготовка по специальностям инженерного профиля, а также по востребованным, престижным и перспективным специальностям IT-области с учетом мировых тенденций развития науки, техники и технологий.

Наличие таких специалистов необходимо для деятельности различных компаний и предприятий электронной промышленности, способствует более эффективной работе субъектов малого и среднего бизнеса, а также обеспечивает высокий уровень конкурентоспособности национальной экономики страны на внутренних и внешних рынках.

