

Уважаемые читатели и авторы!

Редакция журнала открыта для сотрудничества и приглашает к публикации ученых, педагогов, аспирантов и практикующих специалистов в образовательной, технической и экономической сферах. Плата за размещение статьи в выпуске не взимается.

Цели журнала – удовлетворение потребностей специалистов различного профиля в научной и аналитической информации по вопросам внедрения и использования информационно-коммуникационных технологий (в том числе в образовательном процессе) в условиях цифровой трансформации всех сфер общественной жизни.

Задачи журнала: публикация современных достижений в области технических и экономических наук, включая результаты национальных и международных исследований.

Журнал «Цифровая трансформация» зарегистрирован в Министерстве информации Республики Беларусь (свидетельство о регистрации от 27.09.2017 № 662), перерегистрирован 10.06.2022 (учредитель и издатель – учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»). Журнал включен приказом Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь в Перечень научных изданий для опубликования результатов диссертационных исследований (отрасли наук: технические (информатика, компьютерная техника), экономические и образование). Также журнал индексируется в базах Российского индекса научного цитирования (РИНЦ), Directory of Open Access Journals (DOAJ), EconPapers. Префикс DOI 10.35596.

С электронной версией журнала, редакционной политикой и правилами для авторов можно ознакомиться на сайте dt.bsuir.by. Материалы научной статьи для публикации можно подать с помощью специальной формы на сайте журнала или отправить на электронный адрес dig.tr@bsuir.by.

Получение бумажной версии журнала «Цифровая трансформация» доступно через оформление подписки на квартал, полугодие или год по следующим индексам: 75057 – для индивидуальных подписчиков, 750572 – для ведомственных.

Редакция журнала «Цифровая трансформация»

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ

Научный журнал издается с 1995 г. Выходит ежеквартально.

Ранее издание выходило под названием «Информатизация образования».

В 2017 г. журнал перерегистрирован под названием

«Цифровая трансформация», ISSN 2522-9613

Главный редактор

Вадим Анатольевич Богущ, д. ф.-м. н., профессор,
ректор Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники

Редакционный совет

Листопад Н. И., д. т. н., профессор, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь – заместитель главного редактора;

Беляцкая Т. Н., д. э. н., профессор, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь – заместитель главного редактора;

Певнева Н. А., к. т. н., доцент, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь – ответственный секретарь редакционной коллегии;

Сафонов В. Г., д. ф.-м. н., профессор, Институт математики Национальной академии наук Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь;

Байнев В. Ф., д. э. н., к. т. н., профессор, Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь;

Ковалёв М. М., Заслуженный деятель науки Республики Беларусь, д. ф.-м. н., профессор, Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь;

Курбацкий А. Н., Заслуженный деятель науки Республики Беларусь, д. т. н., профессор, Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь;

Хацкевич Г. А., д. э. н., профессор, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь;

Голенков В. В., д. т. н., профессор, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь;

Быков А. А., д. э. н., профессор, Белорусский государственный экономический университет, г. Минск, Республика Беларусь;

Сирота А. А., чл.-кор. Международной академии информатизации, д. т. н., профессор, Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Российская Федерация;

Малинецкий Г. Г., д. ф.-м. н., профессор, Институт прикладной математики имени М. В. Келдыша Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация;

Глухов В. В., д. э. н., профессор, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация;

Плотников В. А., д. э. н., профессор, Санкт-Петербургский государственный экономический университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация;

Касумов В. А., д. т. н., профессор, Бакинский инженерный университет, г. Хырдалан, Азербайджанская Республика.

Ответственный секретарь Т. В. Мироненко

Подписано в печать 20.11.2024. Формат бумаги 60×84½. Бумага офисная. Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 9,53. Уч.-изд. л. 8,6. Тираж 60 экз. Заказ 187.

Адрес редакции: ул. П. Бровки, 6, к. 329а, г. Минск, 220013, Республика Беларусь
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Тел.: +375 17 293-88-41. dig.tr@bsuir.by; <http://dt.bsuir.by>

Отпечатано в БГУИР. ЛП № 02330/264 от 24.12.2020.
220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6

Учредитель – учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
Индекс для индивидуальной подписки 75057. Индекс для ведомственной подписки 750572

© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2024

DIGITAL TRANSFORMATION

The scientific journal is being published since 1995. Publication frequency – quarterly.

The publication previously came out under the title “Informatization of Education”.

In 2017 the journal was reregistered
as “Digital Transformation”, ISSN 2522-9613

Editor-in-Chief

Vadim Bogush, Dr. of Sci. (Phys. and Math.), Professor,
Rector of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

Editorial Board

Listopad N., Dr. of Sci. (Tech.), Professor, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus – Deputy Chief Editor;

Belyatskaya T., Dr. of Sci. (Econ.), Professor, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus – Deputy Chief Editor;

Pevneva N., Cand. of Sci., (Tech.), Associate Professor, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus – Executive Secretary of the Editorial Board;

Safonov V., Dr. of Sci. (Phys. and Math.), Professor, Institute of Mathematics of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus;

Baynev V., Dr. of Sci. (Econ.), Cand. of Sci. (Tech.), Professor, Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus;

Kovalev M., Honored Scientist of the Republic of Belarus, Dr. of Sci. (Phys. and Math.), Professor, Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus;

Kurbatski A., Honored Scientist of the Republic of Belarus, Dr. of Sci. (Tech.), Professor, Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus;

Khatskevich G., Dr. of Sci. (Econ.), Professor, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus;

Golenkov V., Dr. of Sci. (Tech.), Professor, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus;

Bykov A., Dr. of Sci. (Econ.), Professor, Belarus State Economic University, Minsk, Republic of Belarus;

Sirota A., Corresponding Member of International Informatization Academy, Dr. of Sci. (Tech.), Professor, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation;

Malinetskiy G., Dr. of Sci. (Phys. and Math.), Professor, Keldysh Institute of Applied Mathematics of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation;

Glukhov V., Dr. of Sci. (Econ.), Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russian Federation;

Plotnikov V., Dr. of Sci. (Econ.), Professor, Saint Petersburg State University of Economics, Saint Petersburg, Russia;

Gasimov V., Dr. of Sci. (Tech.), Professor, Baku Engineering University, Khirdalan, Republic of Azerbaijan.

Responsible Secretary T. Mironenka

Signed for printing 20.11.2024. Format 60×84 ½. Office paper. Printed on a risograph. Type face Times.

Ed.-pr. l. 9,53. Ed.-ed. l. 8,6. Edition 60 copies. Order 187.

Editorial Address: P. Brovki St., 6, Off. 329a, Minsk, 220013, Republic of Belarus

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

Tel.: +375 17 293-88-41. dig.tr@bsuir.by; <http://dt.bsuir.by>

Printed in BSUIR. License LP No 02330/264 from 24.12.2020.

220013, Minsk, P. Brovki St., 6

Founder – Educational Establishment “Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics”

Index for individual subscription 75057. Index for departmental subscription 750572

© Educational Establishment “Belarusian State University
of Informatics and Radioelectronics”, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

Т. 30, № 4, 2024

Экономические науки, образование

Аксеневич А. М. Оценка цифровой зрелости сбытовых каналов белорусских субъектов хозяйствования	5
Осипович Т. А. Активизация продаж предприятий Беларуси на базе развития подходов к классификации электронных торговых площадок.....	12
Ванкевич Е. В., Калиновская И. Н. Использование больших данных при анализе рынка труда: теоретические подходы и методические инструменты.....	23
Полякова И. А. Трансформация государственно-частного партнерства в образовании под влиянием процессов цифровизации.....	33
Долинский М. С. Стратегия и тактика внедрения генеративного искусственного интеллекта в инструментальную систему дистанционного обучения DL.GSU.BY.....	42

Технические науки

Каплярчук Е. А., Козлов С. В., Крот А. М., Савиных И. Э., Шапкин А. С. Облик перспективной системы низкоорбитального контроля ионосферы над территорией Республики Беларусь и прилегающими регионами	50
Ярмолик В. Н., Деменковец Д. В., Леванцевич В. А., Петровская В. В. Построение управляемых вероятностных тестов с заданным расстоянием Хэмминга	62
Мигалевич С. А., Герман О. В., Хабибов С. Х. Влияние современных информационно-коммуникационных технологий на образование	73

CONTENTS

V. 30, No 4, 2024

Economic Sciences, Education

Aksenevich A. M. Sales Channels Digital Maturity Evaluation of Belarusian Business Entities....	5
Asipovich T. A. Activation of Sales of Belarusian Enterprises Based on the Development of Approaches to the Classification of Electronic Trading Platforms.....	12
Vankevich A. V., Kalinouskaya I. N. Using Big Data in Labor Market Analysis: Theoretical Approaches and Methodological Tools.....	23
Paliakova I. A. Transformation of Public-Private Partnership in Education Under the Influence of Digitization Processes.....	33
Dolinsky M. S. Strategy and Tactics for Introducing Generative Artificial Intelligence into the Instrumental Distance Learning System DL.GSU.BY	42

Technical Sciences

Kaplarchuk E. A., Kozlov S. V., Krot A. M., Savinykh I. E., Shapkin A. S. Appearance of a Promising System of Low-Orbit Control of the Ionosphere over the Territory of the Republic of Belarus and Adjacent Regions.....	50
Yarmolik V. N., Demenkovets D. V., Levantsevich V. A., Petrovskaya V. V. Design of Controlled Random Tests with the Given Hamming Distance.	62
Migalevich S. A., German O. V., Habibov S. H. The Impact of Modern Information and Communication Technologies on Education.....	73



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-4-5-11>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 339

ОЦЕНКА ЦИФРОВОЙ ЗРЕЛОСТИ СБЫТОВЫХ КАНАЛОВ БЕЛОРУССКИХ СУБЪЕКТОВ ХОЗЯЙСТВОВАНИЯ

А. М. АКСЕНЕВИЧ

Институт экономики Национальной академии наук Беларуси (г. Минск, Республика Беларусь)

Поступила в редакцию 26.04.2024

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2024
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2024

Аннотация. На основе разработанной методики проведена оценка уровня цифровой зрелости сбытовых каналов белорусских субъектов хозяйствования на национальном уровне. Это позволило выявить степень цифровизации белорусских товаропроводящих сетей как в целом, так и в разрезе выделенных компонентов («маркетинг и продажи», «логистика и послепродажное обслуживание», «платежи», «управление данными»). Цифровизация сбытовых каналов находится на этапе стандартизации с постепенным внедрением цифровых технологий в процессы товародвижения. Что касается компонентов «логистика и послепродажное обслуживание» и «управление данными», их уровень цифровизации характеризуется внедрением и началом использования базовых цифровых технологий (этап адаптации). По результатам оценки определены основные точки приложения усилий со стороны правительства, что позволит разработать грамотную государственную политику по цифровой трансформации торговли.

Ключевые слова: цифровая трансформация, цифровая зрелость, цифровизация, сбытовой канал, товаропроводящая сеть, маркетинг, логистика, послепродажное обслуживание, платежи, государственная политика.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Аксенович, А. М. Оценка цифровой зрелости сбытовых каналов белорусских субъектов хозяйствования / А. М. Аксенович // Цифровая трансформация. 2024. Т. 30, № 4. С. 5–11. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-4-5-11>.

SALES CHANNELS DIGITAL MATURITY EVALUATION OF BELARUSIAN BUSINESS ENTITIES

ANNA M. AKSENEVICH

The Institute of Economics of the National Academy of Sciences of Belarus (Minsk, Republic of Belarus)

Submitted 26.04.2024

Abstract. Based on the developed methodology, the level of digital maturity of sales channels of Belarusian business entities at the national level was assessed. This made it possible to identify the level of digitalization of Belarusian distribution networks both in general and in the context of the selected components (“marketing and sales”, “logistics and after-sales service”, “payments”, “data management”). Digitalization of sales channels is at stage of the standardization with the gradual introduction of digital technologies into the processes of goods distribution. As for the components “logistics and after-sales service” and “data management”, their level of digitalization is characterized by the introduction and start of using basic digital technologies (adap-

tation stage). Based on the assessment results, the main points of application of efforts on the part of the government were determined, which will allow developing a competent state policy on the digital transformation of trade.

Keywords: digital transformation, digital maturity, digitalization, sales channel, distribution network, marketing, logistics, after-sales service, payments, state policy.

Conflict of interests. The author declares no conflict of interests.

For citation. Aksenevich A. M. (2024) Sales Channels Digital Maturity Evaluation of Belarusian Business Entities. *Digital Transformation*. 30 (4), – . <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-4-XX-XX> (in Russian).

Введение

Дистрибуции продукции, товаров, работ, услуг (далее – продукции) сопутствуют процессы, связанные с управлением товарно-материальными, трудовыми, финансовыми и информационными потоками. Особая роль в современных условиях хозяйствования отводится цифровым технологиям, позволяющим минимизировать транзакционные издержки в контексте продвижения продукции до конечного потребителя. Немаловажную роль приобретает выстраивание грамотной стратегии по цифровому развитию экономики.

Национальными приоритетами в сфере цифрового развития торговли определены¹: расширение электронной торговли и логистики, создание системы информационного обеспечения товарных рынков; создание общенациональной торговой площадки для отечественных предприятий, интеграционной платформы национальной системы электронной логистики, включая механизмы продвижения товаров на рынки третьих стран; расширение сети онлайн-магазинов и интернет-торговли путем использования цифровых сервисов; создание единой унифицированной базы данных о товарах и услугах, информационной системы банка электронных паспортов товаров. Эффективным механизмом продвижения товаров к потребителям станут: развитие биржевых методов торговли; формирование национальных электронных торговых площадок, сетей онлайн-магазинов; более широкое использование цифровых сервисов (бесконтактные и мобильные платежи, автоматизированные расчеты за покупки при помощи электронных устройств, услуги по предзаказу товаров и самовывозу из магазина и др.). Что касается продвижения продукции на внешние рынки, определены такие направления, как: создание многоязычной цифровой экспортной площадки белорусских товаров с широким охватом участников и иностранных пользователей, оптимизация товаропроводящей, сервисной и логистической сетей белорусских экспортеров; налаживание сотрудничества ведущих белорусских производителей с профильными транснациональными корпорациями в целях привлечения прямых иностранных инвестиций, обеспечивающих возможность использования современных технологий, оборудования, патентов на производство новейших видов продукции, получения доступа к товаропроводящим сетям транснациональных корпораций.

Государственная политика в части содействия цифровой трансформации торговли должна ставить перед экономическими агентами обоснованные цели и показатели, учитывающие цифровой потенциал организаций. Иначе говоря, инструменты и меры государственной политики должны соответствовать готовности хозяйствующих субъектов к внедрению и освоению новейших технологий. В данном контексте важную роль приобретает наличие эффективной системы оценивания цифровой зрелости сбытовых каналов организаций. В то же время проведенный анализ системы государственного регулирования цифровой трансформации процессов товародвижения выявил, что в отечественной практике отсутствует общепринятая методика оценки цифровой зрелости сбытовых каналов хозяйствующих субъектов, что не позволяет провести комплексный и системный анализ и выработать в дальнейшем верные управленческие решения.

¹ Национальная стратегия устойчивого развития Республики Беларусь до 2035 года, Программа социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021–2025 годы, Программа деятельности Правительства Республики Беларусь на период до 2025 года, Государственная программа «Цифровое развитие Беларуси» на 2021–2025 годы, Указ Президента Республики Беларусь от 29 ноября 2023 г. № 381 «О цифровом развитии».

Методика оценки уровня цифровой зрелости сбытовых каналов

Следует отметить, что постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 21 апреля 2023 г. № 280 «О мерах по реализации Указа Президента Республики Беларусь от 7 апреля 2022 г. № 136» определены показатели уровня цифрового развития отраслей экономики и административно-территориальных единиц. Представленная система показателей носит общий характер, может выступать в качестве структуры для проведения анализа цифрового развития. В данном контексте была поставлена и реализована цель по разработке методического подхода, позволяющего обеспечить многокритериальное принятие решения по отнесению объекта оценки (сбытовых каналов, ключевых компонентов дистрибуции) к тому или иному уровню цифровой зрелости. Оценка производится по следующим компонентам дистрибуции продукции [1]:

- 1) маркетинг и продажи (широта использования электронных каналов реализации продукции, пользовательский интерфейс сайта/приложения компании, цифровой каталог продукции и др.);
- 2) логистика и послепродажное обслуживание (размещение заказов, отслеживание складских запасов и др.);
- 3) платежи;
- 4) управление данными (о продукции, клиентах, платежах).

Далее с учетом представленных в открытом доступе статистических данных касательно использования цифровых технологий в Республике Беларусь были разработаны ключевые показатели цифровизации дистрибуции продукции в разрезе выделенных выше компонентов.

1. Маркетинг и продажи

- 1.1. Представленность сведений об организации, о ее товарах (работах, услугах) в интернете.
- 1.2. Получение заказов на выпускаемые организацией товары (работы, услуги) (без учета заказов, полученных по электронной почте) через интернет.
- 1.3. Распространение электронной продукции через интернет.
- 1.4. Электронные продажи товаров (работ, услуг) через специальные формы, размещенные на веб-сайте или в экстранете.
- 1.5. Электронные продажи товаров (работ, услуг) через системы автоматизированного обмена сообщениями (EDI).

1.6. Использование CRM-системы.

1.7. Использование ERP-системы.

2. Логистика и послепродажное обслуживание

- 2.1. Оказание послепродажного обслуживания через интернет.
- 2.2. Использование WMS-системы (система управления складом).
- 2.3. Использование TMS-системы (система управления перевозками).
- 2.4. Использование SCM-системы (система управления цепями поставок).

3. Платежи

- 3.1. Осуществление электронных расчетов с потребителями через интернет.

4. Управление данными

- 4.1. Использование технологии «Большие данные».
- 4.2. Использование технологии «Интернет вещей».
- 4.3. Использование технологии «Искусственный интеллект».
- 4.4. Использование технологии радиочастотной идентификации (RFID).
- 4.5. Использование технологии «Цифровой двойник».

Выделены уровни цифрового развития дистрибуции (ее компонентов), характеризующиеся применением определенных цифровых технологий [1]: адаптация (применение цифровых технологий базового уровня), стандартизация (развитие цифровых технологий на основе прикладного аспекта), цифровая экспансия (развитие прикладных технологий высокого уровня цифровизации).

Оценка уровня цифровизации сбытовых каналов белорусских субъектов хозяйствования

В табл. 1 приведены результаты оценки уровня цифровизации сбытовых каналов белорусских субъектов хозяйствования за 2022 г.², полученные в ходе применения разработанного методического подхода.

² Статистические данные за 2023 г. по состоянию на 27.06.2024 отсутствуют.

Таблица 1. Оценка уровня цифровизации сбытовых каналов белорусских субъектов хозяйствования
Table 1. Assessment of Belarusian business entities' sales channels digitalization level

№ пп	Индикатор	Уровень цифровой зрелости (вес) ³	Доля организаций в общем числе обследованных организаций, %	Балл
1	МАРКЕТИНГ И ПРОДАЖИ			
1.1	Представленность сведений об организации, о ее товарах (работах, услугах) в интернете	Базовый (0,025)	77,6	1,940
1.2	Получение заказов на выпускаемые организацией товары (работы, услуги) (без учета заказов, полученных по электронной почте) через интернет		44,0	1,100
1.3	Распространение электронной продукции через интернет		18,2	0,455
1.4	Электронные продажи товаров (работ, услуг) через специальные формы, размещенные на веб-сайте или в экстранете		35,6	0,890
1.5	Электронные продажи товаров (работ, услуг) через системы автоматизированного обмена сообщениями (EDI)	Стандартизация (0,05)	16,5	0,825
1.6	Использование CRM-системы		19,4	0,970
1.7	Использование ERP-системы		14,4	0,720
Итого баллов по разделу (максимально возможные – 25)				6,900
2	ЛОГИСТИКА И ПОСЛЕПРОДАЖНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ			
2.1	Оказание послепродажного обслуживания через интернет	Стандартизация (0,05)	25,5	1,275
2.2	Использование WMS-системы		4,1	0,205
2.3	Использование TMS-систем		3,7	0,185
2.4	Использование SCM-системы		3,5	0,175
Итого баллов по разделу (максимально возможные – 20)				1,840
3	ПЛАТЕЖИ			
3.1	Осуществление электронных расчетов с потребителями через интернет	Стандартизация (0,05)	40,2	2,010
Итого баллов по разделу (максимально возможные – 5)				2,010
4	УПРАВЛЕНИЕ ДАННЫМИ			
4.1	Использование технологии «Большие данные»	Высокий (0,1)	12,3	1,230
4.2	Использование технологии «Интернет вещей»		18,5	1,850
4.3	Использование технологии «Искусственный интеллект»		3,6	0,360
4.4	Использование технологии радиочастотной идентификации (RFID)		13,7	1,370
4.5	Использование технологии «Цифровой двойник»		0,6	0,060
Итого баллов по разделу (максимально возможные – 50)				4,870
ИТОГО БАЛЛОВ (максимально возможные – 100)				15,620

Источник: составлено автором на основе данных Национального статистического комитета Республики Беларусь⁴.

В зависимости от полученной балльной оценки как в целом для дистрибуции, так и для каждого выделенного компонента определен уровень цифровой зрелости сбытовых каналов белорусских организаций за 2022 г. (табл. 2).

³ Уровни цифровой зрелости присвоены экспертным путем на основе исследования [1].

⁴ Информационное общество в Республике Беларусь: статистический бюллетень. Минск: Нац. статист. комитет Респ. Беларусь, 2023.

Таблица 2. Уровень цифровой зрелости сбытовых каналов белорусских организаций (0–100)
Table 2. Level of Digital Maturity of Belarusian Business Entities' Sales Channels (0–100)

Уровень цифровой зрелости	В целом	Маркетинг и продажи	Логистика и послепродажное обслуживание	Платежи	Управление данными
Адаптация (0–10 баллов)			9,2		9,74
Стандартизация (11–50 баллов)	15,62	27,6		40,2	
Цифровая экспансия (51–100 баллов)					

Источник: разработано автором.

Исходя из полученных результатов, следует отметить, что цифровизация сбытовых каналов белорусских организаций находится на этапе стандартизации (15,62 балла из 100 возможных), характеризуется постепенным внедрением цифровых технологий в процессы товародвижения. Наилучшее положение наблюдается по таким компонентам, как «маркетинг и продажи» (27,6 балла) и «платежи» (40,2 балла). В свою очередь, по компонентам «логистика и послепродажное обслуживание» и «управление данными» уровень цифровизации находится на этапе адаптации: 9,20 и 9,74 балла соответственно.

Довольно неплохие результаты наблюдаются по следующим компонентам цифровизации дистрибуции продукции:

- базовым: 77,6 % белорусских субъектов хозяйствования представили сведения о своей деятельности, а также о товарах (работах, услугах) в интернете; 44,0 % получаемых заказов на выпускаемые организациями товары осуществляются через интернет (без учета заказов, полученных по электронной почте); 35,6 % электронных продаж товаров (работ, услуг) осуществлялось через специальные формы, размещенные на веб-сайте организаций или в экстранете;

- присущим этапу стандартизации: 25,5 % организаций осуществляли послепродажное обслуживание через интернет, 40,2 % выполняли электронные расчеты с потребителями через интернет;

- обладающим высоким уровнем цифровой зрелости: организации использовали в своей деятельности технологии интернета вещей – 18,5 %, радиочастотной идентификации (RFID) – 13,7 %, больших данных – 12,3 %.

Проблемными выступают:

- среди базовых: распространение электронной продукции через интернет (18,2 % организаций);

- присущие этапу стандартизации: использование субъектами хозяйствования систем WMS (4,1 %), TMS (3,7 %), SCM (3,5 %);

- обладающие высоким уровнем цифровой зрелости: использование технологий «Цифровой двойник» (0,6 %) и «Искусственный интеллект» (3,6 %).

Результаты исследований и их обсуждение

Несмотря на повышенное в последние годы внимание со стороны исследователей к процессам цифровизации торговли (Т. Мезенбург [2], М. Л. Калужский [3], Д. В. Разуваев⁵, И. П. Бойко [5], Г. Г. Головенчик и М. М. Ковалев [6], Л. С. Климченя⁶ [7] и др.), вопросы оценки степени цифровизации сбытовых каналов остаются не до конца изученными. Основной фокус все же направлен на производство. Так, в мировой практике разработаны и успешно применяются такие методические подходы к анализу цифрового развития субъектов хозяйствования, как подход Всемирного экономического форума (совместно с компанией Accenture)⁷, подход iResearch Global Group, подход агентства ТМО Group⁸. Тем не менее исследований, посвященных оценке цифровой зрелости непосредственно сбытовых каналов организаций, недостаточно.

Разработанная (и адаптированная к отечественной практике ведения статистической отчетности) автором статьи методика оценки уровня цифровой зрелости сбытовых каналов может стать

⁵ Разуваев, Д. М. Международная электронная торговля, проблемы и перспективы развития / Д. М. Разуваев. М.: Московский ун-т потреб. кооп., 2004.

⁶ Климченя, Л. С. Электронная коммерция / Л. С. Климченя. Минск: Вышэйш. шк., 2004.

⁷ Digital Transformation of Industries. Mode of access: <https://www.weforum.org/reports/digital-transformation-of-industries/>. Date of access: 09.03.2024.

⁸ B2B eCommerce Series Part 2: Assessing Digital Maturity for B2B eCommerce. Mode of access: <https://www.tmgroupp.com/asia/b2b-series2-assessing-digital-maturity-for-b2b-ecommerce/>. Date of access: 09.03.2024.

одним из элементов национальной системы мониторинга цифровой трансформации процессов товародвижения, так как позволяет провести анализ не только на уровне организаций, но и на национальном (в отраслевом, региональном разрезе). Это, в свою очередь, даст возможность органам государственного регулирования определить векторы цифрового развития торговли.

Национальными программными документами определены ключевые направления цифрового развития, ряд аспектов по электронной коммерции также отражен в различных нормативных правовых документах. В то же время отсутствует специальный нормативный правовой акт, который бы регламентировал порядок цифровой трансформации процессов товародвижения. Представляются целесообразными разработка и внедрение такого акта (документа), который, среди прочего, содержал бы методический подход к оценке уровня цифровой зрелости организаций и их сбытовых каналов. Схожего мнения придерживаются исследователи в сфере правового регулирования электронной торговли Н. В. Маевская, П. П. Вакутина [7], О. Н. Толочко [8].

Заключение

1. В ходе исследования системы государственного регулирования цифровизации торговли выявлено, что в отечественной правоприменительной практике отсутствуют специальный нормативный правовой акт, который бы регламентировал порядок цифровой трансформации процессов товародвижения, а также общепринятая методика оценки цифровой зрелости сбытовых каналов хозяйствующих субъектов. В целях предотвращения «конфликта» между выстраиваемой органами государственного регулирования политикой и цифровым потенциалом организаций, а также для выработки верных управленческих решений (как на макро-, так и на микроуровне) разработан методический подход, позволяющий провести категоризацию состояния цифровой зрелости сбытовых каналов в зависимости от уровня применяемых цифровых технологий (как в целом, так и в разрезе компонентов дистрибуции).

2. Проведенная оценка показала, что уровень цифровой зрелости сбытовых каналов отечественных организаций находится на этапе стандартизации. Наилучшее положение наблюдается по таким компонентам, как «маркетинг и продажи» и «платежи», а по компонентам «логистика и послепродажное обслуживание» и «управление данными» уровень цифровизации находится на этапе адаптации.

3. В целях содействия цифровой трансформации процессов товародвижения в современных условиях хозяйствования, а также учитывая текущее состояние цифровизации сбытовых каналов белорусских организаций, ключевыми точками приложения усилий со стороны государственных регулирующих структур должны стать:

– стимулирование субъектов хозяйствования к внедрению цифровых решений в производственно-сбытовую деятельность, инвестиций в цифровые технологии посредством создания эффективной системы поддержки цифрового развития торговли;

– непрерывное совершенствование нормативной правовой базы в части развития инфраструктуры электронной коммерции, определение векторов развития электронной торговли (путем издания рекомендательных документов, разработки планов развития и выпуска отчетов по цифровой трансформации торговли), обеспечение действенного мониторинга и контроля (внедрение в правоприменительную практику методики оценки уровня цифровой зрелости сбытовых каналов хозяйствующих субъектов);

– поощрение конкуренции в логистическом секторе в целях повышения оперативности и качества предоставляемых логистических услуг, содействие внедрению цифровых технологий;

– активное участие в международных инициативах по развитию электронной коммерции, что позволит изучить и перенять наиболее передовые практики и опыт зарубежных стран, будет способствовать эффективному планированию и выстраиванию политики в части содействия цифровой трансформации процессов товародвижения.

Список литературы

1. Аксенович, А. М. Теоретико-методические аспекты оценки уровня цифровой зрелости сбытовых каналов субъектов хозяйствования / А. М. Аксенович // Стратегия развития экономики Беларуси: вызовы, инструменты реализации и перспективы: сб. науч. ст., в 2-х т. Минск: Право и экономика, 2023. Т. 1. С. 280–284.

2. Мезенбург, Т. Л. Измерение цифровой экономики [Электронный ресурс] / Т. Л. Мезенбург / Бюро переписи США. Режим доступа: <https://www.census.gov/content/dam/Census/library/working-papers/2001/econ/digitalecon.pdf>. Дата доступа: 22.03.2024.
3. Калужский, М. Л. Электронная коммерция: маркетинговые сети и инфраструктура рынка / М. Л. Калужский. М.: Экономика, 2014.
4. Бойко, И. П. Экономика предприятия в цифровую эпоху / И. П. Бойко, М. А. Евневич, А. В. Колышкин // Российское предпринимательство. 2017. Т. 18, № 7. С. 1127–1136.
5. Головенчик, Г. Г. Цифровая экономика / Г. Г. Головенчик, М. М. Ковалев. Минск: Изд. центр Белор. гос. ун-та, 2019.
6. Климченя, Л. С. Электронная торговля в контексте трансформации торговых процессов / Л. С. Климченя // Научные труды Республиканского института высшей школы. Философско-гуманитарные науки. 2022. № 21–2. С. 57–64.
7. Маевская, Н. В. Правовое регулирование электронной торговли в Республике Беларусь / Н. В. Маевская, П. П. Вакутина // Государство и право во времени и пространстве: сб. тез. докл. участников Респ. науч.-практ. конф. с междунар. участием студентов, магистрантов, аспирантов. Минск: Белор. гос. эконом. ун-т, 2020. С. 160–161.
8. Толочко, О. Н. Актуальные проблемы правового регулирования электронной торговли / О. Н. Толочко // Право в современном белорусском обществе: сб. науч. тр. (Национальный центр законодательства и правовых исследований Республики Беларусь). Минск: Колорград, 2021. Вып. 16. С. 349–355.

References

1. Aksenevich A. M. (2023) Theoretical and Methodic Aspects of Evaluating Digital Maturity of Business Entities' Sales Channels. *Belarusian Economy Development Strategy, Challenges, Implementation Tools and Prospects, Collection of Science Articles. Vol. 1.* Minsk, Law and Economy. 280–284 (in Russian).
2. Mesenbourg T. L. (2001) Measuring the Digital Economy. *U.S. Bureau of the Census*. Available: <https://www.census.gov/content/dam/Census/library/working-papers/2001/econ/digitalecon.pdf> (Accessed 22 March 2024).
3. Kaluzhskiy M. L. (2014) *Electronic Commerce: Marketing Networks and Market Infrastructure*. Moscow, Economy Publ. (in Russian).
4. Boyko I. P., Evnevich M. A., Kolyshkin A. V. (2017) Enterprise Economics in the Digital Age. *Russian Entrepreneurship*. 18 (7), 1127–1136 (in Russian).
5. Kovalev M. M., Golovenchik G. G. (2018) *Digital Economy – a Chance for Belarus*. Minsk, Publishing Center of the Belarusian State University (in Russian).
6. Klimchenya L. S. (2022) Electronic Commerce in the Context of the Transformation of Trade Processes. *Scientific Works of the Republican Institute of Higher Education. Philosophical and Humanities*. (21–2), 57–64 (in Russian).
7. Maevskaya N. V., Vakutina P. P. (2020) Legal Regulation of Electronic Commerce in the Republic of Belarus. *State and Law in Time and Space: Collection of Theses of Reports of Participants of the Republican Scientific and Practical Conference with International Participation of Students, Undergraduate, Graduate*. Minsk, Belarusian State Economic University. 160–161 (in Russian).
8. Tolochko O. N. (2021) Current Problems of Legal Regulation of Electronic Commerce. *Law in the Modern Belarusian Society: Collection of Scientific Works (National Center for Legislation and Legal Research of the Republic of Belarus)*. (16). Minsk, Colorgrad Publ. 349–355 (in Russian).

Сведения об авторе

Аксеневич А. М., науч. сотр. сектора анализа макроэкономической динамики отдела мониторинга социально-экономического развития, Институт экономики Национальной академии наук Беларуси

Адрес для корреспонденции

220072, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. Сурганова, 1, корп. 2
Институт экономики
Национальной академии наук Беларуси
Тел.: +375 29 180-03-25
E-mail: anyaaksenevich@gmail.com
Аксеневич Анна Михайловна

Information about the author

Aksenevich A. M., Researcher at the Sector of Macroeconomic Dynamics Analysis of the Monitoring of Socio-Economic Development Department, The Institute of Economics of the National Academy of Sciences of Belarus

Address for correspondence

220072, Republic of Belarus,
Minsk, Sorganava St., 1, Build. 2
The Institute of Economics
of the National Academy of Sciences of Belarus
Tel.: +375 29 180-03-25
E-mail: anyaaksenevich@gmail.com
Aksenevich Anna Mikhailovna



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-4-12-22>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 339:004.738.5

АКТИВИЗАЦИЯ ПРОДАЖ ПРЕДПРИЯТИЙ БЕЛАРУСИ НА БАЗЕ РАЗВИТИЯ ПОДХОДОВ К КЛАССИФИКАЦИИ ЭЛЕКТРОННЫХ ТОРГОВЫХ ПЛОЩАДОК

Т. А. ОСИПОВИЧ

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

Поступила в редакцию 29.07.2024

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2024
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2024

Аннотация. В статье представлен результат сравнительного анализа существующих в мире электронных торговых площадок. Охарактеризованы бизнес-модели сотрудничества продавцов с операторами таких интернет-площадок в области маркетинговых исследований, методов продаж, инструментов продвижения, форм расчетов и логистики. Опираясь на современные тенденции по части использования функциональных возможностей маркетплейсов, предложен ряд признаков их классификации. Среди них: ассортимент объекта купли-продажи, возможность перепродажи товара, регион расположения покупателей, выбор организационно-правового статуса маркетплейса, участие маркетплейса в процессе продажи товаров, бизнес-модели работы с маркетплейсом, способы оплаты, возможности интеграции маркетплейса с другими интернет-ресурсами, условия регистрации покупателей и продавцов. Выявлены препятствия на пути активизации продаж предприятий Беларуси на маркетплейсах, предложены рекомендации по их устранению.

Ключевые слова: электронная торговая площадка, электронная коммерция, интернет-магазин, виды маркетплейсов, бизнес-модели продаж.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Осипович, Т. А. Активизация продаж предприятий Беларуси на базе развития подходов к классификации электронных торговых площадок / Т. А. Осипович // Цифровая трансформация. 2024. Т. 30, № 4. С. 12–22. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-4-12-22>.

ACTIVATION OF SALES OF BELARUSIAN ENTERPRISES BASED ON THE DEVELOPMENT OF APPROACHES TO THE CLASSIFICATION OF ELECTRONIC TRADING PLATFORMS

TATSIANA A. ASIPOVICH

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

Submitted 29.07.2024

Abstract. The article presents the results of a comparative analysis of existing electronic trading platforms in the world. It characterizes business models of cooperation between sellers and operators of such Internet platforms in the field of marketing research, sales methods, promotion tools, forms of payment and logistics. Based on modern trends in the use of marketplace functionality, a number of classification criteria are proposed. Among them: the range of the object of purchase and sale, the possibility of resale of goods, the region of location of buyers, the choice of the organizational and legal status of the marketplace, the participation of the marketplace in the process of selling goods, business models of working with the marketplace, payment methods, the possibility of integrating the marketplace with other Internet resources, the conditions for registering buyers and sel-

lers. The obstacles to activating sales of Belarusian enterprises on marketplaces are identified, recommendations for their elimination are offered.

Keywords: electronic trading platform, electronic commerce, online store, types of marketplaces, sales business models.

Conflict of interests. The author declares no conflict of interests.

For citation. Asipovich T. A. (2024) Activation of Sales of Belarusian Enterprises Based on the Development of Approaches to the Classification of Electronic Trading Platforms. *Digital Transformation*. 30 (4), 12–22. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-4-12-22> (in Russian).

Введение

В последнее десятилетие электронные торговые площадки (ЭТП) являются основной движущей силой электронной коммерции (ЭК) [1]¹. В результате опроса потребителей из разных стран мира экспертам мирового логистического рынка DHL удалось установить, что лишь 3 % онлайн-покупателей по всему миру не используют ЭТП².

Под ЭТП (от англ. e-marketplace) понимают многосторонний виртуальный рынок или пространство с детерминированными правилами для участников, способные предоставить возможность продавцам и покупателям в режиме онлайн обмениваться коммерческой информацией, совершать различные сделки купли-продажи и гарантировать их реализацию при условии регистрации на веб-сайте такой площадки [1]. В научной литературе и аналитических статьях интернет-изданий в области бизнеса в качестве синонимов ЭТП используются также понятия «маркетплейс», «цифровая торговая платформа» и «торговая интернет-площадка»³ [1–7].

Анализ географической структуры продавцов зарубежных ЭТП показал, что белорусские производители не в полной мере используют такие интернет-площадки для продвижения своей продукции не только в других странах, но и на территории Беларуси. Например, их доля в объеме продаж на русскоязычных ЭТП России Wildberries и OZON крайне низкая: одежды и обуви – 2 %, детских товаров – 1 %, электроники, мебели, товаров для дома и товаров сегмента «красота и здоровье» – близка к нулю³.

Автором выдвигается гипотеза, что одной из проблем по части активизации продаж белорусских производителей на национальном и зарубежных рынках является низкая осведомленность их сотрудников об особенностях таких интернет-площадок, включая успешные алгоритмы организации торгового процесса на них. Цель исследований – убедиться в правоте данной гипотезы и разработать рекомендации по увеличению экспорта и продаж отечественных товаров на территории Беларуси посредством использования преимуществ ЭТП. Актуальность таких предложений подтверждается рядом приоритетных задач, утвержденных в положениях Программы социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021–2025 гг. Среди них:

- государственное «содействие в выходе отечественных экспортеров на международные площадки электронной торговли» с целью «активизации и диверсификации экспорта» страны;
- «формирование национальных ЭТП» с тем, чтобы развить потребительский рынок;
- «подготовка квалифицированных кадров для цифровой экономики ... для повышения цифровой грамотности населения» страны.

Задачи исследования:

- провести опрос студентов Белорусского государственного экономического университета (БГЭУ) и Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники (БГУИР), которым преподавались экономические дисциплины;
- провести опрос представителей малого и среднего бизнеса частной формы собственности из Беларуси и России, которые имеют негативный опыт продаж (более трех лет) отличающихся товаров на разных ЭТП;

¹ Year in Review 2023. *Marketplace Pulse*. Available: <https://www.marketplacepulse.com/year-in-review-2023> (Accessed 7 June 2024).

² Бахарев, И. Online Shopper Trends Report 2024: основные eCommerce-тренды из отчёта DHL [Электронный ресурс] / И. Бахарев. // ООО «АЭРОКОМ». Режим доступа: <https://e-pepper.ru/news/online-shopper-trends-report-2024-osnovnyye-ecommerce-trendy-iz-otchyeta-dhl.html>. Дата доступа: 07.06.2024.

³ Бахарев, И. Российские маркетплейсы не способствуют росту отечественного производства: выводы ИРПЭ [Электронный ресурс] / И. Бахарев. // ООО «АЭРОКОМ». Режим доступа: <https://e-pepper.ru/news/rossiyskie-marketpleysy-ne-sposobstvuyut-rostu-otchestvennogo-proizvodstva-vyvody-irpe.html>. Дата доступа: 07.06.2024.

- разработать перечень новых признаков классификации ЭТП по продаже товаров;
- разработать практические рекомендации по минимизации рисков белорусских предприятий при выходе на ЭТП.

Разработка классификации электронных торговых площадок и практических рекомендаций для предприятий Беларуси

В зависимости от участников торговых сделок выделяют следующие виды ЭТП, которые функционируют в рамках таких систем ЭК, как [2]:

– B2B (от англ. Business-to-Business – «бизнес для бизнеса»), при этой системе продавцы и покупатели являются представителями бизнеса и осуществляют оптовые торговые операции. Например, в Беларуси функционирует ЭТП по оплате коммерческих заказов из собственных средств предприятий (icetrade.by), оператором которой является Национальный центр маркетинга и конъюнктуры цен (НЦМКЦ). К интернет-площадкам для осуществления закупок из бюджетных средств и государственных внебюджетных фондов относятся ЭТП goszakupki.by и zakupki.butb.by, операторами которых являются соответственно НЦМКЦ и Белорусская универсальная товарная биржа (БУТБ);

– B2C (от англ. Business-to-Consumer – «бизнес для потребителя»), здесь покупатели из числа физических лиц могут приобрести в розницу товар у продавцов в лице представителей бизнеса. Мировым лидером среди них является ЭТП Amazon (США)¹;

– B2G (Business-to-Government – отношения между бизнесом и государством). В качестве оптовых и мелкорозничных покупателей могут быть представители разных государственных органов власти страны, международных организаций и/или интеграционных объединений (ЕС, ЕАЭС, СНГ). Например, структуры ООН используют ЭТП UN Global Marketplace (ungm.org) для закупок товаров и услуг, отдавая приоритет продавцам из развивающихся стран и государств с переходной экономикой, к числу которых относится Беларусь.

ЭТП в рамках систем B2G и B2B нацелены на минимизацию коррупции, поэтому предполагают состязательный способ заключения сделок на базе регламентации допустимых процедур закупок (например, в законе от 13.07.2012 № 419-3 утверждено шесть разрешенных таких в Беларуси процедур и условий их выбора). В отличие от них ЭТП в рамках системы B2C не обязывают продавцов использовать электронную цифровую подпись и предлагают иную процедуру – покупку по образцам на базе витрины сайта ЭТП. Сделка заключается в случае согласия покупателя с ценой понравившегося товара, размещенной продавцом на такой витрине. Данный способ установления сделки предлагается на площадке AliExpress (Китай) и большинстве других ЭТП в мире. Исключение составляют немногочисленные ЭТП по продаже бывших в употреблении товаров (eBay (США)) и изделий ручной работы (Bonanza (США)). Авторы научных публикаций предлагают также другие признаки классификации ЭТП: по модели организации, специализации, по типу управления и степени влияния участников [1, 2, 4].

В целях обнаружения причин низкой активности многих белорусских предприятий в сфере ЭТП в 2023 г. автор провел опрос 155 и 200 студентов соответственно из БГЭУ и БГУИР. Инструментом исследования была анкета в бумажном виде, состоящая из 10 вопросов. Обобщение ответов респондентов позволило выявить следующие заблуждения в отношении существенных характеристик ЭТП: 63 % опрошенных считали, что ЭТП обеспечивает условия для заключения сделок исключительно в области государственных закупок, 74 % – что на БУТБ не функционирует ЭТП, 92 % – что владелец веб-сайта ЭТП является только оператором данной интернет-площадки и не может продавать на ней товары, 57 % – что Wildberries и OZON являются интернет-магазинами. При этом более 89 % респондентов имели опыт покупок товаров на русскоязычных зарубежных ЭТП.

Второй опрос 17-ти представителей малого и среднего бизнеса (четырёх производителей из России, двух производителей и 11-ти продавцов из Беларуси, не создающих продаваемые товары) был проведен в 2023 г. с использованием другой анкеты, состоящей из 10 вопросов. В результате большинство респондентов указало три основные причины недополучения ожидаемой прибыли или убытков по ряду товарных позиций, среди них: жесткая конкуренция (все респонденты), чрезмерные требования к выполнению установленных процедур взаимодействия продавца с ЭТП (все респонденты), низкий уровень знаний в области организации продаж на мар-

кетплейсах на этапе их выхода на ЭТП (100 % белорусских и 75 % российских продавцов товаров на ЭТП). Более 75 и 53 % респондентов соответственно из России и Беларуси изучали на занятиях в соответствующих вузах некоторые показатели эффективности ЭК и маркетинговые инструменты онлайн-продвижения товаров, которые имгодились при принятии решений по увеличению клиентской базы и сокращению операционных расходов. В то же время все респонденты отметили отсутствие в обучаемом материале методических подходов с детальной характеристикой целесообразных бизнес-операций и необходимых для многосторонней их оценки показателей эффективности, особенно при использовании внутренней и внешней систем аналитики ЭТП.

Как показывают результаты проведенных опросов, гипотеза, выдвинутая автором на начальном этапе исследования, подтвердилась. Одной из причин низкой активности использования ЭТП системы В2С многими белорусскими производителями является отсутствие в учебных планах вузов страны дисциплины, которая позволяла бы обучать студентов принципам эффективных продаж на маркетплейсах. В отдельных вузах Беларуси в рамках некоторых экономических специальностей краткая характеристика ЭТП дается лишь в форме вопроса одной из лекций. Как результат, выпускники не только не умеют работать на ЭТП, но и часто путают интернет-магазин с ЭТП системы В2С.

В связи с этим предлагается включить в учебные планы для студентов различных экономических специальностей и курсов повышения квалификации при вузах дисциплину «Коммерческая деятельность на электронных торговых площадках». При этом структура данной дисциплины должна содержать темы в области ЭТП, функционирующих в рамках разных систем ЭК. Это позволит сформировать у обучающихся понимание четкого разграничения между такими видами ЭТП и обеспечить квалификацию, достаточную для разумного выбора или комбинации из этих и других каналов продаж товаров, а также для эффективной организации коммерческих операций на каждом из рассмотренных видов ЭТП.

Для решения проблем, выявленных в результате проведенных опросов, возникла необходимость графического представления различий между интернет-магазином и ЭТП. Интернет-магазин – это один из возможных каналов продаж товара, при котором один продавец в лице представителя бизнеса взаимодействует через собственный веб-сайт с потенциальными покупателями в лице его посетителей в рамках модели коммуникации «один-многим», стимулируя последних к приобретению заинтересовавшего товара для личных нужд.

Рис. 1 наглядно демонстрирует ключевые различия интернет-магазина и ЭТП системы В2С: собственник сайта и модель коммуникации. В частности, стороны торговых сделок таких ЭТП взаимодействуют в рамках модели коммуникации «многие-многим». Данная модель работает следующим образом. Большое количество продавцов в лице представителей бизнеса под надзором оператора ЭТП использует веб-сайт, созданный ЭТП, в качестве одного из возможных каналов продаж своих товаров большому количеству потенциальных покупателей из числа посетителей этого популярного веб-сайта, которые являются физическими лицами.

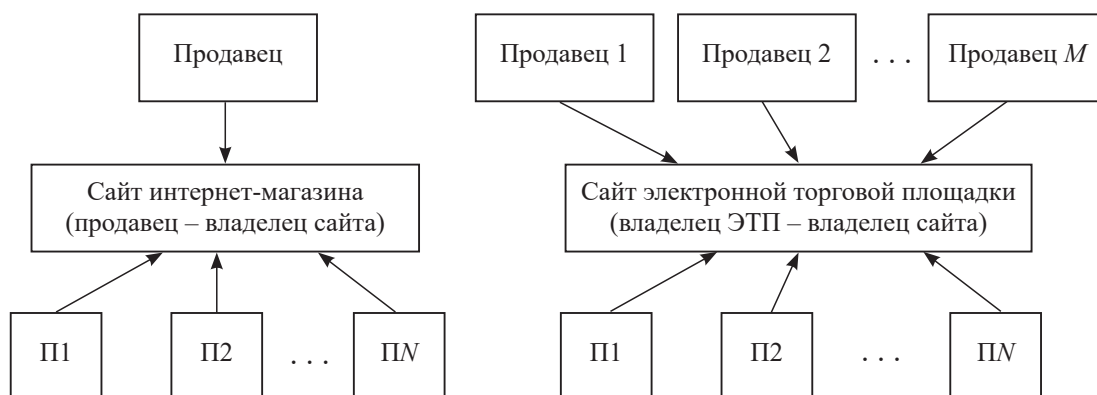


Рис. 1. Модель коммуникации между сторонами торговых сделок в интернет-магазинах и электронных торговых площадках В2С: N, M – количество покупателей и продавцов соответственно
Fig. 1. The model of communication between the parties of trade transactions on e-shop and e-marketplaces B2C: N, M – the number of buyers and sellers, respectively

В целях повышения конкурентоспособности операторы передовых ЭТП не стоят на месте в своем развитии, а ежегодно внедряют новые бизнес-процессы и сервисы на базе современных информационно-коммуникационных технологий. Анализ литературных источников в области создания, регулирования и развития ЭТП показал, что недостаточно изучены возможные подходы к таксономии таких интернет-площадок [1–7]. Это мешает формированию у ученых, у обучающихся и представителей бизнеса знаний в области актуальных функциональных возможностей современных ЭТП, а также четкого представления об отличительных особенностях ЭТП, работающих в рамках разных систем ЭК.

На базе анализа требований разных ЭТП и выявленных в ходе опроса у респондентов проблем, препятствующих обеспечению эффективных продаж на маркетплейсах:

- выработан ряд практических рекомендаций по решению таких проблем;
- предлагается дополнить таксономию таких интернет-площадок по продаже товаров группировкой существующих ЭТП в мире в рамках системы В2С на базе следующих классификационных признаков.

В зависимости от участия ЭТП в процессе продажи товаров можно выделить ЭТП, которая:

- получает доход только от обеспечения функционирования ЭТП, оказывая при этом в качестве оператора ЭТП различные виды услуг продавцам и покупателям ЭТП (пример – JOOM (Латвия), Avita (Россия));
- на возмездной основе обеспечивает функционирование ЭТП и продает наравне с другими продавцами купленные у разных производителей товары на данной ЭТП. Так, например, работают ЭТП Lamoda и «Мегамаркет» (Россия);
- на возмездной основе обеспечивает функционирование ЭТП, а также продает покупные товары либо продукцию собственного производства на данной ЭТП. Например, производство и продажу на собственных маркетплейсах разной электроники и бытовой техники осуществляют ЭТП Amazon (США), «Яндекс.Маркет», OZON и Wildberries (Россия).

Для минимизации убытков либо получения низкой маржинальности белорусским предприятиям по перепродаже товаров разных производителей предлагается не использовать те крупные маркетплейсы, которые сами могут оказаться вашими конкурентами в качестве продавца аналогичных товаров. Также нецелесообразно выбирать ЭТП, на которой такой же, как у вас, товар продают производители из числа ваших поставщиков. Первые благодаря большим скидкам от поставщиков за сверхкрупный заказ и/или длительное сотрудничество, а вторые за счет возможности формировать себестоимость такого товара могут легко победить в ценовой борьбе рассматриваемую группу отечественных продавцов на ЭТП.

В зависимости от ассортимента объекта купли-продажи ЭТП бывают:

- специализированные – например, Lamoda предлагает покупателям приобрести одежду, обувь, аксессуары и отдельные товары для декорирования интерьера жилища;
- универсальные – с широким ассортиментом товаров из разных группировок, создаваемых в рамках товароведной классификации товаров. К таким ЭТП относятся российские «Магнит-Маркет» (ранее KazanExpress), «Мегамаркет».

Для минимизации рисков выбора ЭТП по данному признаку классификации важно оценить ежемесячное количество посетителей сайта маркетплейса, являющихся потенциальными покупателями конкретного товара белорусского производителя.

Одной из приоритетных задач НСЭР утверждено развитие мелкого предпринимательства в регионах Беларуси. Для активизации экспорта ремесленников, проживающих за пределами столицы, рекомендуется выходить на ЭТП «Ярмарка мастеров» (Россия), которая ориентирована на продажу изделий ручной работы и эксклюзивной продукции (мебель, украшения, одежда и обувь, сумки и аксессуары, товары для детей, др.). После снятия международных санкций рекомендуется диверсифицировать географию экспорта за счет рынков развитых стран с более платежеспособными покупателями. В частности, в перспективе можно масштабировать свой бизнес за счет покупателей ЭТП США: Goimage, Etsy, Bonanza и дочернего проекта Amazon – Amazon Handmade.

Для минимизации штрафов от оператора ЭТП следует внимательно изучить правила работы на заинтересовавшем маркетплейсе в части требований к производителю продавца. В зависимости от возможности перепродажи товара можно выделить:

– ЭТП, на которых можно продавать собственную продукцию и/или заниматься перепродажей изделий других производителей. К ним относится большинство существующих ЭТП в мире;

– ЭТП, дающие право на продажу только изделий собственного производства (Etsy, «Ярмарка мастеров»). При установлении оператором таких маркетплейсов попытки перепродажи изделий других производителей продавец может столкнуться с проблемой штрафных санкций или блокировки аккаунта.

Для минимизации рисков чрезмерных расходов, санкций за нарушения нормативно-правовых актов отдельных государств и иногда даже отказа в заявке продавца на регистрацию на ЭТП рекомендуется внимательно изучить законодательство и используемые организационно-правовые формы маркетплейсов в конкретной стране. Различия могут быть даже в странах, входящих в одно интеграционное объединение. Например, в рамках ЕАЭС в Беларуси продавцом маркетплейса не может быть самозанятый, а в России – может. В зависимости от выбора организационно-правового статуса ЭТП при выходе на новый рынок страны покупателя бывают:

– ЭТП, которые работают на иностранном рынке как нерезиденты страны покупателя. Примером такой ЭТП в Беларуси является российская площадка OZON. Данный подход обязывает продавцов из Беларуси, продающих разные товары на ЭТП OZON, заключать с этой интернет-платформой внешнеторговый договор;

– ЭТП, которые регистрируют одно или несколько юридических лиц, являющихся резидентами страны покупателя. Такой подход на территории Беларуси применяет российская ЭТП Wildberries. В связи с этим белорусские продавцы принимают оферту на сайте ЭТП Wildberries, которая не является внешнеторговым договором. Это позволяет продавцу производить расчеты в белорусских рублях и минимизировать риски в связи с отсутствием валютного регулирования его коммерческой деятельности государственными органами власти Беларуси.

Например, такой подход отечественного производителя в отношении ЭТП, обслуживающих покупателей из Беларуси, позволит минимизировать риски применения к нему санкций из-за его ненадлежащего исполнения обязательств при регистрации внешнеторгового комбинированного договора (договора комиссии и договора на оказание услуг) в Национальном банке Республики Беларусь, что необходимо при превышении его выручки величины, установленной отечественным законодательством.

В отношении некоторых ЭТП рекомендуется исследовать существующие возможности и экономическую целесообразность регистрации своего бизнеса в разрешенном такими маркетплейсами перечне стран размещения продавца либо продажу своих товаров через посредника из числа действующих продавцов на интересующей ЭТП. Например, при желании получить доступ к участию в продаже товаров на сайте rakuten.com ЭТП Rakuten (Япония) белорусскому производителю придется зарегистрировать свой бизнес в Японии или в США. В зависимости от региона расположения покупателей можно выделить:

– национальные ЭТП. Примеры – созданные в 2024 г. универсальные ЭТП Sello (Узбекистан) и Email (Беларусь);

– международные ЭТП. Рейтинг ведущих маркетплейсов мира состоит из таких интернет-платформ.

Для минимизации рисков неудач прогрессивного роста продаж и масштабирования бизнеса белорусских производителей в целом рекомендуется выбирать международную ЭТП. Она способна быстро и существенно увеличить их клиентскую базу, а также устранить препятствия, связанные с узостью емкости и со снижением уровня благосостояния покупателей национального рынка. По данным DHL, современные покупатели очень требовательны к доставке товара¹. В зависимости от предлагаемых бизнес-моделей работы с ЭТП можно выделить ЭТП, которая:

– использует два основных вида бизнес-моделей выстраивания логистики: FBO (от англ. Fulfillment by Operator – «выполнение оператором») и FBS (от англ. Fulfillment by Seller – «выполнение продавцом»). При первом виде комплекс логистических услуг оказывает оператор ЭТП, а при втором – продавец ЭТП. На сайтах ЭТП и в интернет-изданиях такой комплекс логических услуг называют «фулфилмент», который может включать операции по хранению, комплектованию, упаковке, маркировке, доставке товара, оформлению товаросопроводительных документов (транспортная накладная, акт приема-передачи товара, др.) и обработке возвратов. Из-за услуги хранения на складе маркетплейса комиссия ЭТП при выборе FBO выше, чем при других биз-

нес-моделях. Поэтому белорусским производителям прибегать к FBO целесообразно для товаров с высоким спросом и быстрой оборачиваемостью;

– использует дополнительные бизнес-модели, помимо базовых бизнес-моделей FBO и FBS. На сайтах разных ЭТП такие схемы продаж могут совпадать по содержанию, но отличаться названием. Например, при сотрудничестве с ЭТП «Яндекс.Маркет» продавец получает выбор из четырех бизнес-моделей: FBO, FBS, DBS (от англ. Delivery by Seller – «доставка продавцом») и Express («срочная пересылка»). При DBS продавец ЭТП передает упакованный на своем складе товар не во внутреннюю службу доставки «Яндекс.Маркет», а в другую аналогичную службу, специализирующуюся на доставке, либо может доставить товар покупателю самостоятельно. В рамках такой бизнес-модели за все этапы – от продажи до отгрузки – отвечает продавец. При Express курьер ЭТП приезжает на склад продавца и отвозит упакованные им товары за 1–2 часа только тем покупателям, которые находятся в зоне обслуживания по такой высокоскоростной бизнес-модели;

– не предлагает полноценную услугу фулфилмента продавцам. Таких маркетплейсов меньшинство. Например, ЭТП Robo Market (Россия) не имеет своих складов и служб доставки. Поэтому при сотрудничестве с данным видом маркетплейсов белорусским производителям следует учитывать невозможность продажи на них по схеме FBO.

Чаще всего ЭТП дают возможность выбора способа доставки товара: курьерская служба, доставка почтой, электронная доставка (только для цифровых товаров), ПВЗ (пункт выдачи заказов), постомат, др. Иногда ЭТП могут на временной или постоянной основе обслуживать отдельных покупателей без предоставления им выбора доставки, что необходимо учитывать белорусским продавцам. Так, если покупатель из Беларуси и России выбрал и оплатил товар продавцов, не зарегистрированных на территории России, ЭТП ЮОМ самостоятельно выбирает службу доставки (ФГУП «Почта России») или таможенного представителя (АО «Юнитрейд» либо АО «ДПД РУС»). В связи с этим белорусским предприятиям необходимо выявить географию и требования их потенциальных покупателей в области способа доставки, отдавая предпочтение отвечающим этим требованиям ЭТП. Например, если белорусский продавец планирует доставку товаров в разные отдаленные регионы, то предпочтение следует отдавать маркетплейсу с широкой сетью ПВЗ. При выборе отечественным продавцом бизнес-модели на конкретной ЭТП следует:

– внимательно изучить алгоритм действий в рамках отдельной модели и оценить Unit-экономику каждого из продаваемых товаров при ее выборе – разницу между выручкой и расходами по каждой товарной позиции;

– воспользоваться возможностью не выбирать только одну бизнес-модель для всех продаваемых товаров, а подобрать для каждого товара ту бизнес-модель, которая обеспечивает оптимизацию расходов по его продаже. Расходы в области логистики во многом зависят от типа товара (габариты, вес, хрупкость, др.);

– убедиться, что организационно-правовая форма продавца ЭТП разрешена для подходящей ему бизнес-модели. Например, ЭТП «Яндекс.Маркет» предлагает самозанятым выбор одной комбинации или комбинацию только из трех бизнес-моделей, когда остальным видам продавцов доступен выбор из четырех бизнес-моделей;

– учесть особенности законодательства в области налогообложения и правил ведения бухгалтерского учета страны-регистрации ЭТП. Так, в Беларуси от выбора той или иной бизнес-модели зависят набор бухгалтерских документов и их оформление. При DBS ЭТП OZON выполняет лишь арбитражные функции по отношению к сделке между продавцом и покупателем товара. Такой подход существенно усложняет процесс документооборота продавца. Также выбор бизнес-модели может увеличивать затраты продавца в области налогообложения. Например, при определенных условиях в Беларуси нулевую ставку НДС можно применять только при использовании бизнес-моделей FBS и DBS⁴;

– оценить вероятность нарушения требований ЭТП в случае выполнения всех логистических операций самостоятельно и при передаче обязательств по ним маркетплейсу либо сторонней организации (например, ООО «Глобал Сэйлс» в Беларуси, ООО «СДЭК-Глобал» в России, др.).

⁴ Как продавать на OZON и Wildberries из Беларуси [Электронный ресурс] // ООО «БизнесСтарт». Режим доступа: https://bizstart.by/blog/kak_prodat_na_ozon_i_wildberries_iz_bearusi. Дата доступа: 07.06.2024.

Если собственные ресурсы (кадровые, материальные, финансовые) предприятий Беларуси не позволяют обеспечить качественное выполнение логистических операций на всех этапах на базе передовых средств механизации и автоматизации, а также минимизировать риски как порчи и потери товара, так и штрафов или отказа в приемке от маркетплейса, то целесообразно воспользоваться логистическими услугами проверенных сторонних организаций в рамках аутсорсинга. Последние используют видеофиксацию приемки, а также системы автоматизации складов, отслеживания заказов и интеграции с транспортными службами. На сайтах ЭТП и в интернет-изданиях их называют фулфилмент-операторами. В отношении Беларуси такой подход предпочтителен для начинающих продавцов на ЭТП, для производителей без наличия необходимых собственных ресурсов и/или при необходимости доставки в удаленные регионы, а также для продавцов крупногабаритных, дорогих либо хрупких изделий.

В зависимости от условий регистрации покупателей на сайте ЭТП при оформлении заказа регистрация может быть обязательной (примеры – Wildberries, Amazon) и необязательной (Lamoda, Robo Market). Белорусским продавцам рекомендуется продавать на ЭТП с обязательной регистрацией покупателя, это позволит минимизировать ошибки принятия маркетинговых решений в области выбора инструментов продвижения каждого из своих товаров. Такой подход ЭТП обеспечивает доступ к достоверной, актуальной и полной информации обо всех покупателях данной интернет-площадки, что ускоряет и упрощает маркетинговые исследования на базе использования возможностей внутренней и внешней систем аналитики маркетплейса.

Целесообразно использовать ЭТП, у которых есть внешние системы аналитики таких маркетплейсов (например, сервисы, предлагаемые SellerBox, eCompass). Внутренние системы аналитики как элемент функционала личного кабинета каждого продавца ЭТП позволяют автоматизировать анализ своей коммерческой деятельности на таком маркетплейсе на базе данных за выбранный период (количество и география заказов, объем продаж, оборачиваемость, др.) и отчетов по ним с тем, чтобы избежать штрафов и блокировок созданных товарных карточек (страница ЭТП с разными сведениями о продаваемом товаре). Сервисы для внешней аналитики предлагают на платной основе полезные данные для анализа рынка одной или нескольких ЭТП. Такие сервисы могут помочь белорусским предприятиям ускорить и поднять научный уровень анализа конкурентов, выявить тенденции, изучить выдачу по поисковым запросам пользователей сайта конкретной ЭТП, оценить другие показатели, необходимые для грамотного прогнозирования дальнейшего успешного развития своего бизнеса.

В зависимости от условий регистрации продавцов на сайте ЭТП выделяются: ЭТП, предлагающие продавцу лишь один тарифный план регистрации (Wildberries и большинство других ЭТП в мире) и несколько тарифных планов на выбор (Amazon). Amazon дает возможность выбора одного из двух вариантов (при этом тарифный план можно сменить в любой момент времени):

1) индивидуальный план (значительно дешевле, но имеет ряд ограничений: разрешает продавать в месяц не более 40 товарных позиций, не дает доступа к встроенным инструментам для бизнес-аналитики и продвижения, а также к доступным для другого тарифного плана дополнительным полезным программам);

2) профессиональный план (доступен только для юридических лиц и позволяет полноценно работать с использованием всех функциональных возможностей ЭТП).

С точки зрения регистрации продавцов ЭТП могут отличаться по ряду других признаков:

– по стоимости оплаты. Так, одни ЭТП обеспечивают бесплатную регистрацию (OZON, AliExpress), а другие – платную (Wildberries, «Мегамаркет»);

– в зависимости от перечня и процедуры подачи документов, требуемых для регистрации, в целях верификации компании и ее владельца. Бывают крайне требовательные (Amazon) и менее строгие ЭТП (Wildberries). Часто характер такой процедуры обусловлен законодательством страны регистрации ЭТП;

– по срокам регистрации. Применяется быстрая регистрация – от нескольких часов (OZON) и более длительная, продолжительностью до нескольких суток (Wildberries).

Кроме того, все ЭТП могут отличаться по размеру комиссии и стоимости размещения товара, по логистике, продвижению и другим оказываемым продавцам услугам. Так, часть ЭТП предлагает возможность бесплатного размещения товара на своих сайтах (AliExpress, Flipkart (Индия)).

До регистрации на ЭТП белорусским предприятиям следует внимательно изучить применяемые ею различные ограничения и отслеживать изменения в них на систематической основе. Так, существующие в мире ЭТП могут иметь следующие ограничения:

- по разрешенным категориям продажи товаров на ЭТП. Например, на Emall нельзя предлагать покупателям скоропортящиеся продукты, животных и разные виды одежды, требующие примерки. Также некоторые ЭТП могут утверждать такие ограничения в связи с введением против отдельных стран международных санкций. К примеру, с 2023 г. Площадка AliExpress запретила продавать российским покупателям дроны из Китая;

- по внутренним правилам сотрудничества в рамках доставки (у каждой ЭТП есть перечень продуктов, которые она не готова хранить на своих складах, разные требования к упаковке товаров (наклеивание штрихкодов, маркировка, др.) перед отправкой на склады и/или ПВЗ ЭТП), по своим регламентам к оформлению товаросопроводительных документов;

- по доступным покупателям способам оплаты за товары:
 - онлайн-оплата (на базе доступных к выбору банковских карт);
 - офлайн-оплата (на базе утвержденных оператором ЭТП банковских карт и/или посредством наличных денежных средств (например, Lamoda, JOOM).

В зависимости от способов оплаты бывают ЭТП, которые:

- проводят транзакции на базе сторонних платежных систем (Visa, Mastercard, Мир). Таких ЭТП большинство в мире;

- используют и развивают свои платежные сервисы для организации процесса взаиморасчетов с покупателями и продавцами (например, платежный сервис Alipay площадки AliExpress и Amazon Pay площадки Amazon). В последние годы схожая тенденция по активному развитию собственных финтех-сервисов стала проявляться в деятельности крупнейших ЭТП на рынке стран СНГ. В частности, в 2021 г. маркетплейсы Wildberries, OZON и «Яндекс.Маркет» приобрели в собственность соответственно банки «Стандарт-Кредит», «Оней Банк» и «Акрополь» и стали добавлять в экосистему их ЭТП новые финансовые инструменты.

Белорусским предприятиям следует выбирать ЭТП с такой платежной системой, которая позволяет достичь баланса между максимизацией:

- экономии расходов продавца в области осуществления финансовых операций при приеме платежей от покупателей (величина комиссии, частота перевода ЭТП платежей от покупателей на счет продавца, др.);

- удовлетворенности покупателя из целевой аудитории такого продавца (удобство, быстрота, безопасность предлагаемых ему способов оплаты заказанного товара).

В зависимости от возможностей интеграции ЭТП с другими интернет-ресурсами можно выделить ЭТП:

- позволяющую импортировать структурированные данные из другой ЭТП, на которой уже работал до этого продавец. Так, при начале работы с ЭТП Goimage (США) и Bonanza творческие продавцы ручной работы могут импортировать уже имеющийся каталог товаров на Etsy. Универсальная площадка «Яндекс.Маркет» позволяет продавцам настроить перенос данных по каждой товарной карточке (характеристика, изображения, остатки) из российских ЭТП OZON и Wildberries и китайской ЭТП в России AliExpress Russia;

- позволяющую продавцам интегрировать данные интернет-магазинов таких продавцов, созданных на отдельных интернет-ресурсах, и наоборот. Так, созданные в конструкторе Shopify интернет-магазины можно интегрировать в работу Amazon и Etsy, а сервис Oberlo позволяет продавцам импортировать данные о товарах с сайта AliExpress в свой интернет-магазин;

- позволяющую продавцам интегрировать данные из других интернет-ресурсов. Так, в начале 2022 г. ЭТП Robo Market предлагала продавцам возможность подключить свой аккаунт в социальной сети Instagram и добавлять товары на данную ЭТП прямо из него;

- не позволяющую импортировать различные данные из других интернет-ресурсов (Emall, «Ярмарка мастеров»).

Белорусским производителям, которые используют не только ЭТП, но и другие каналы продаж (электронные – интернет-магазин, социальную сеть) и традиционные (фирменные магазины, павильоны на выставках), рекомендуется использовать ЭТП, которая обеспечивает возможность такой безопасной и экономически выгодной интеграции с другими их электронными каналами.

Это может позволить продавцу упростить и сократить расходы в части создания товарной карточки, отслеживания в наличии товаров и работы с аналитикой, а также получить доступ к большей аудитории потенциальных покупателей. К тому же мультимедийность поможет минимизировать риски потерь от временной блокировки аккаунта ЭТП, так как в этом случае клиентская база на других ЭТП и прочих интернет-ресурсах продавца сохранится.

Принятие решения белорусскими предприятиями о регистрации на конкретной ЭТП должно основываться на оценке экономической выгоды не только с учетом указанных выше факторов, но и доступных на ней инструментов продвижения товаров. Не каждая ЭТП обязывает продавцов принимать участие в организуемых ею рекламных акциях (например, «МегаМаркет»). Однако для минимизации убытков белорусским предприятиям следует не надеяться, что благодаря регистрации на ЭТП удастся избежать расходов на продвижение товара в надежде быстрого его поиска на данной интернет-площадке большим количеством ее посетителей. Из-за высокого уровня конкуренции среди продавцов следует изучить алгоритмы поисковой системы ЭТП и комбинировать инструменты активизации продаж: собственные (партнерство с инфлюэнсерами, подробная проработка содержания товарной карточки на ЭТП с учетом принципов SEO и ЭТП) и подходящие из предлагаемых ЭТП маркетинговых инструментов. Использование продавцом последних является одним из критериев оценки при присваивании ЭТП рейтинга каждого продавца в баллах. Высокий рейтинг крайне важен, так как позволит обеспечить заметнее товар покупателям за счет автоматического размещения его в более высоких позициях в поисковой выдаче. При выборе ЭТП белорусским производителям следует отдавать предпочтение маркетплейсам, которые разрешают применять не только платные, но и бесплатные инструменты повышения рейтинга продавца (работа продавца над оптимизацией ассортимента, по минимизации возвратов товара, по оперативной корректировке цен с учетом ценовой политики конкурентов на ЭТП).

Минимизации рисков и масштабированию бизнеса белорусских предприятий будет способствовать также выбор не одной, а минимум двух ЭТП с целевой аудиторией для продавца. При этом следует воспользоваться возможностями внутренней аналитики соответствующего маркетплейса для расчета Unit-экономики товаров. Это позволит спрогнозировать необходимое количество продаж для выхода в точку безубыточности, а также оперативно отслеживать позиции с низкой маржинальностью и принимать на этой основе верные решения в области управления ассортиментом.

Заключение

1. Сравнительно высокие темпы роста инфраструктуры ЭТП, обслуживающей бизнес благодаря увеличению числа клиентов, продавцов и совершаемых покупок, а также основных показателей эффективности деятельности таких площадок вносят позитивный вклад в развитие экономик отдельных стран и мировой экономики в целом. Выбор ЭТП белорусскими предприятиями должен основываться не только на клиентоориентированном подходе, но и на учете ряда рискованных факторов, положенных в основу предлагаемой классификации ЭТП.

2. Представлен ряд признаков классификации ЭТП: ассортимент объекта купли-продажи, возможность перепродажи товара, регион расположения покупателей, выбор организационно-правового статуса маркетплейса, участие маркетплейса в процессе продажи товаров, бизнес-модели работы с маркетплейсом, способы оплаты, возможности интеграции маркетплейса с другими интернет-ресурсами, условия регистрации покупателей и продавцов. В отличие от существующих подходов к таксономии ЭТП предлагаемый подход отражает их ключевые функциональные характеристики и особенности организации интернет-торговли в рамках системы электронной коммерции B2C.

3. Предложенные практические рекомендации по минимизации рисков выхода на ЭТП белорусских предприятий разработаны с учетом каждого признака классификации маркетплейсов. Внедрение рекомендаций в практическую деятельность представителей бизнеса и высших учебных заведений Беларуси позволит обеспечить отечественные предприятия достаточным количеством высококвалифицированных кадров в области электронной коммерции и виртуального маркетинга, повысить вероятность удачного выбора подходящей ЭТП в качестве перспективного канала продаж и выхода на рынки иностранных государств, а также решить ряд приоритетных задач развития экономики страны в целом.

Список литературы

1. Продвижение белорусских товаров и услуг на потребительский рынок / Под ред. Г. А. Короленка. Минск: Респуб. ин-т высш. шк., 2021.
2. Демина, Н. В. Виды электронных торговых площадок / Н. В. Демина, М. В. Чистова // Вестник экспертного совета. 2018. № 1–2. С. 132–137.
3. Запольский, А. В. Электронные торговые площадки как инструмент вовлечения в электронную торговлю / А. В. Запольский, Л. С. Климченя // Вести Института предпринимательской деятельности. 2020. № 1. С. 59–65.
4. Гракун, В. Электронные торговые площадки – эффективный инструмент повышения конкурентоспособности организаций АПК / В. Гракун // Экономика сельского хозяйства. 2020. № 5. С. 30–36.
5. Аверкиева, О. Ю. Динамика продаж женской одежды на онлайн-торговых площадках: сравнительный анализ Wildberries, Amazon и Ozon / О. Ю. Аверкиева // Инновации и инвестиции. 2023. № 3. С. 77–81.
6. Климченя, Л. С. Цифровые торговые платформы: сущность и практика функционирования / Л. С. Климченя // Научные труды Республиканского института высшей школы. 2023. С. 298–304.
7. Слицкая, А. Е. Почему искусственный интеллект – это будущее электронной коммерции [Электронный ресурс] / А. Е. Слицкая // Universum: технические науки. 2023. № 12. Режим доступа: <https://universum.com/ru/tech/archive/item/16370>. Дата доступа: 07.06.2024.

References

1. Korolenok G. A. (2021) *Promotion of Belarussians Goods and Services on the Consumer Market: Monograph*. Minsk, Republican Institute of Higher Education (in Russian).
2. Demina N. V., Chistova M. V. (2018) The Types of Electronic Trading Platforms. *Bulletin of the Expert Council*. (1–2), 132–137 (in Russian).
3. Zapolsky A. V., Klimchenia L. S. (2020) Electronic Trading Platform as a Tool for Involving Electronic Trade. *Vesti Institute of Entrepreneurship*. (1), 59–65 (in Russian).
4. Grakun V. (2020) Electronic Trading Platforms – an Effective Tool to Increase the Competitiveness of Agribusiness Organizations. *Agrarian Economics*. (5), 30–36 (in Russian).
5. Averkieva O. Yu. (2023) Dynamics of Sales of Women's Clothing on Online Trading Platforms: Comparative Analysis of Wildberries, Amazon and Ozon. *Innovation and Investment*. (3), 77–81 (in Russian).
6. Klimchenia L. S. (2023) Digital Trading Platforms: The Essence and Practice of Functioning. *Scientific Works of Republican Institute of Higher Education*. 298–304 (in Russian).
7. Slitskaia A. E. (2023) Why Artificial Intelligence is the Future of E-Commerce. *Universum: Technical Sciences*. (12). Available: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/16370> (Accessed 7 June 2024) (in Russian).

Сведения об авторе

Осипович Т. А., канд. экон. наук, доц. каф. экономики, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. П. Бровки, 6
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
Тел.: +375 29 635-34-70
E-mail: Tatyt2004@mail.ru
Осипович Татьяна Анатольевна

Information about the author

Asipovich T. A., Cand. of Sci., Associate Professor at the Department of Economics, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,
Minsk, P. Brovki St., 6
Belarusian State University
of Informatics and Radioelectronics
Tel.: +375 29 635-34-70
E-mail: Tatyt2004@mail.ru
Asipovich Tatsiana Anatolyevna



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-4-23-32>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 331.1+004.89

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БОЛЬШИХ ДАННЫХ ПРИ АНАЛИЗЕ РЫНКА ТРУДА: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ИНСТРУМЕНТЫ

Е. В. ВАНКЕВИЧ, И. Н. КАЛИНОВСКАЯ

Витебский государственный технологический университет (г. Витебск, Республика Беларусь)

Поступила в редакцию 26.07.2024

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2024
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2024

Аннотация. Рассмотрена возможность использования технологий больших данных и больших языковых моделей для анализа рынка труда в Республике Беларусь. Разработаны теоретические подходы с применением больших данных, что подразумевает определение как возможности в проведении аналитики рынка труда по данным онлайн-источников, так и эффективных инструментов для сбора и обработки информации о рынке труда с онлайн-источников. Применение больших данных и больших языковых моделей позволит улучшить качество и точность анализа рынка труда в республике, а использование передовых аналитических инструментов обеспечит более полное и детализированное понимание динамики рынка труда. Исследование основывается на анализе существующих теоретических подходов, практике использования больших данных и больших языковых моделей в зарубежных странах, а также на оценке текущих возможностей и ограничений применения этих технологий в Беларуси. В качестве инструментария использовались методы машинного обучения, анализа больших данных и моделирования. Результаты исследования могут быть применены для улучшения стратегий управления рынком труда, а также для разработки политик и программ занятости, ориентированных на современные вызовы и возможности цифровой экономики.

Ключевые слова: большие данные (Big Data), рынок труда, анализ данных, занятость, большие языковые модели (LLM), машинное обучение, искусственный интеллект, вакансии, резюме, цифровая экономика, инструменты аналитики.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарность. Исследование выполнено в рамках научно-исследовательской работы «Теоретические подходы и методическое обеспечение анализа рынка труда в Республике Беларусь с применением больших данных» при финансовой поддержке Белорусского фонда фундаментальных исследований по договору Г24-013.

Для цитирования. Ванкевич, Е. В. Использование больших данных при анализе рынка труда: теоретические подходы и методические инструменты / Е. В. Ванкевич, И. Н. Калиновская // Цифровая трансформация. 2024. Т. 30, № 4. С. 23–32. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-4-23-32>.

USING BIG DATA IN LABOR MARKET ANALYSIS: THEORETICAL APPROACHES AND METHODOLOGICAL TOOLS

ALENA V. VANKEVICH, IRYNA N. KALINOUSKAYA

Vitebsk State Technological University (Vitebsk, Republic of Belarus)

Submitted 26.07.2024

Abstract. The article considers the possibility of using big data technologies and large language models to analyze the labor market in the Republic of Belarus. Theoretical approaches using big data have been developed, which implies determining both the possibility of conducting labor market analytics using online sources and effective tools for collecting and processing information on the labor market from online sources. The use of big data and large language models will improve the quality and accuracy of labor market analysis in the republic, and the use of advanced analytical tools will provide a more complete and detailed understanding of the labor market dynamics. The study is based on the analysis of existing theoretical approaches, the practice of using big data and large language models in foreign countries, as well as an assessment of the current capabilities and limitations of using these technologies in Belarus. Machine learning, big data analysis and modeling were used as tools. The results of the study can be used to improve labor market management strategies, as well as to develop employment policies and programs focused on modern challenges and opportunities of the digital economy.

Keywords: Big Data, labor market, data analysis, employment, big language models (LLM), machine learning, artificial intelligence, vacancies, resumes, digital economy, analytics tools.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

Gratitude. The research was carried out within the framework of the research work “Theoretical approaches and methodological support for the analysis of the labor market in the Republic of Belarus using big data” financed by the Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research under contract Г24-013.

For citation. Vankevich A. V., Kalinouskaya I. N. (2024) Using Big Data in Labor Market Analysis: Theoretical Approaches and Methodological Tools. *Digital Transformation*. 30 (4), 23–32. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-4-23-32> (in Russian).

Введение

Актуальность темы исследования обусловлена возрастающими объемами информации о рынке труда, что создает новые возможности для аналитики рынка труда и принятия решений. В современных условиях возрастает количество источников информации, содержащих сведения о вакансиях и соискателях рабочих мест (онлайн-порталы вакансий, сайты предприятий, профессиональные сети, проч.), в которых много дополнительных данных о рынке труда в отличие от статистических и административных источников. Но при работе с большими данными (Big Data) при анализе рынка труда возникают методологические трудности, связанные с неоднородностью самих источников данных, разной степенью их надежности и достоверности, разной структурированностью расположенной на них информации, с недоступностью части информации, что создает проблемы с репрезентативностью. В этих условиях необходимой является разработка технического инструментария для формирования единой базы данных о рынке труда для ее последующего анализа. Использование «сырых» или просто агрегированных данных, даже отслеживаемых за определенный промежуток времени, – это только информация. Аналитикой она становится тогда, когда создан алгоритм (теоретический фундамент и методика), который эти данные может обработать и дать результаты для принятия решений и прогноза.

Элементы больших данных о рынке труда и их источники

Большие данные – это структурированные и неструктурированные данные значительных объемов и многообразия, обрабатываемые с помощью программных инструментов. Основными характеристиками Big Data являются объем, скорость, разнообразие, достоверность, ценность [1]. Big Data для рынка труда позволяют извлекать новые сведения, поэтому для их использования нужно выполнить шесть этапов: формирование интегрированного массива данных из первоисточников, обработка, классификация, хранение массива данных, анализ, визуализация результатов. На каждом из этапов значима роль эксперта в области рынка труда, поскольку необ-

ходимо генерировать базу данных из релевантных источников, обрабатывать и классифицировать данные по принятым в экономике рынка труда показателям, уметь видеть и оценивать выявленные тенденции и взаимосвязи.

Элементами Big Data о рынке труда являются: информация о вакансиях (число вакансий, наименование организации, название должности, требования к навыкам и образованию, предлагаемая заработная плата); информация о резюме (число резюме, название должности, имеющиеся навыки, образование, требования к условиям труда и заработной плате); профили соискателей (опыт работы, навыки, образование, пол, возраст); метаданные вакансий и резюме (местоположение, отрасль, время открытия вакансии, дата публикации резюме); численность занятых, безработных и выпускников; классификация перечисленных массивов данных по видам экономической деятельности, регионам, занятиям (для поиска зависимостей).

Можно выделить следующие типы источников информации о рынке труда:

– административные источники данных (статистическая и административная отчетность органов государственного, отраслевого, регионального управления о численности и структуре занятых, принятых, уволенных, выпускниках, обучающихся, безработных, количестве свободных рабочих мест и вакансий; данные опросов, др.);

– онлайн-источники (онлайн-порталы вакансий, агрегаторы вакансий, сайты предприятий и кадровых агентств, профессиональные сообщества и сети в интернете).

Каждый из перечисленных типов источников Big Data о рынке труда можно классифицировать по доступности и полноте содержащейся информации, репрезентативности, периоду обновления, используемым классификаторам. Качество больших данных в первую очередь зависит от выбранного источника и способа их обработки.

Зарубежный опыт использования больших данных в аналитике рынка труда

Мировым лидером в аналитике рынка труда, основанной на использовании сформированных из интернет-источников баз данных, является Burning Glass Institute. Данные о вакансиях и резюме собираются методом веб-скрейпинга с более чем 40 тыс. уникальных онлайн-ресурсов, группируются в зависимости от цели исследования с выполнением научно-исследовательских работ (платно). В экономической литературе широко демонстрируются возможности использования больших данных для аналитики различных аспектов рынка труда, обработанных с помощью технологий искусственного интеллекта, по следующим основным направлениям: для классификации навыков и занятий с помощью искусственного интеллекта [2–6], при проведении анализа различных аспектов рынка труда (затрат на персонал [7], структуры занятости [8], динамики и дифференциации спроса на отдельных специалистов [9]), для выявления несоответствий на рынке труда и определения востребованных рынком труда направлений и специальностей подготовки в учреждениях образования [10–13].

В настоящее время на уровне Европейской экономической комиссии обсуждается вопрос консолидации статистических данных и данных, полученных из онлайн-источников¹ [14], что приведет к формированию «статистики граждан». С 2016 г. в ЕС совместно с Евростатом реализуется пилотный проект ESSnet Big Data для интеграции Big Data о рынке труда с официальной статистикой на основе изучения потенциала отобранных онлайн-источников (проект охватывает 22 страны ЕС). Европейским центром развития профессионального образования и обучения (CEDEFOP) создана мультязычная система (32 языка), способная собирать вакансии, извлекать из них навыки и осуществлять мониторинг рынка труда в 28 странах ЕС. Усилиями Европейского фонда образования реализован проект «Большие данные для рынка труда»², в результате которого созданы базы данных и онлайн-платформы их визуализации [1].

В России АНО «Центр научных исследований в сфере профориентации и психологии труда» в 2021–2022 гг. создана цифровая модель рынка труда «Магуча» [15, 16], которая консолидирует информацию о рынке труда с различных онлайн-источников и сравнивает с официальными ста-

¹ Servoz M. (2019) *AI. The Future of work? Work of the Future!* Available: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/future-work-work-future> (Accessed 10 July 2024).

² *Big Data for Labour Market Information – Focus on Data from Online Job Vacancies – Training Workshop (Eastern Partnership Platform 4 Work Programme for Members of the “Make it Match” Experts’ Network)*. Available: <https://www.etf.europa.eu/en/news-and-events/events/big-data-labour-market-information-focus-data-online-job-vacancies-training> (Accessed 10 July 2024).

статистическими данными (без детализации по навыкам)³. Специалистами ФГБУ «ВНИИ труда» Министерства труда Российской Федерации разработана автоматизированная информационная система «Мониторинг рынка труда» – программно-аппаратный комплекс по мониторингу вакансий и резюме, где источниками данных выступили открытые данные HeadHunter, SuperJob, статистические данные Министерства просвещения Российской Федерации⁴, которые доступны для анализа [17].

В целом разработанные страновые модели и их программное обеспечение не в полной мере применимы для Беларуси, так как не рассчитаны на отечественные классификаторы, а используемые ими программное обеспечение и площадка для визуализации не доступны белорусским пользователям. Также остается открытым вопрос экспертной оценки формируемой базы и методологии ее обработки. То есть технически вопрос решен, а с теоретической точки зрения – нет. В республике комплексных исследований рынка труда с применением технологии Big Data не проводится, за исключением некоторых работ в отдельных видах экономической деятельности [18, 19] или для отдельных категорий пользователей (социально уязвимых групп населения) [20]. На некоторых порталах (rabota.by, belmeta.com) есть аналитические разработки, однако в них проводится не анализ, а освещение отдельных аспектов рынка труда, и только по собственным данным (что объясняет нерепрезентативность этих обзоров). Углубленные результаты таких обзоров, как правило, не публикуются, поскольку они выполняются по заказу платно. Но главными ограничениями обзоров является отсутствие аналитики, использование собственных показателей (научная правомерность которых не всегда очевидна) и нерепрезентативность данных. Отсутствие теоретических разработок по оценке инструментов для использования Big Data на рынке труда снижает потребительскую ценность полученной информации. Поэтому нужна экспертная работа для создания инструментов анализа рынка труда с применением Big Data.

Отбор инструментов для анализа рынка труда Республики Беларусь на основе больших данных

Технологии Big Data и большие языковые модели (Large Language Models, LLM) находят все более широкое применение в анализе рынка труда. LLM, такие как GPT-4, Claude и другие, способны обрабатывать и анализировать огромные объемы неструктурированных текстовых данных, открывая новые возможности для исследования тенденций занятости, востребованных навыков и других аспектов рынка труда. Одним из ключевых преимуществ использования LLM является их способность автоматически извлекать ценную информацию из больших массивов данных, таких как описания вакансий, резюме, отзывы сотрудников и дискуссии на профессиональных форумах. Эти модели могут идентифицировать ключевые слова, фразы и концепции, связанные с конкретными профессиями, отраслями и навыками. Это позволяет получать ценные сведения о текущем состоянии и будущих трендах в сфере занятости.

Исследованию возможностей LLM при анализе рынка труда посвящены работы ряда авторов. М. Тамбурри исследовал, как LinkedIn использует LLM BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers, разработана компанией Google в 2018 г., используется в приложениях, связанных с обработкой естественного языка, интегрирована в поисковую систему Google для улучшения понимания запросов пользователей) для анализа данных о вакансиях и выявления профессий с высоким спросом. LLM применялась для понимания семантики описаний вакансий и улучшения классификации профессий. Авторы [21] использовали GPT-2 для анализа спроса на рабочую силу в США. Они применяли LLM для выявления вакансий, связанных с искусственным интеллектом, и изучали, как спрос на цифровые навыки влияет на различные профессии и демографические группы. Соавторы [22] задействовали BERT для анализа объявлений о вакансиях и резюме с целью изучения связи между автоматизацией и требованиями к навыкам на итальянском рынке труда. LLM извлекала информацию о навыках из неструктурированных текстов для классификации веб-вакансий по профессиям и навыкам. Авторы [23] реализовывали BERT для анализа влияния «Индустрии 4.0» на профили работы и требования к навыкам. LLM собирала информацию о навыках и задачах из описаний вакансий, связанных с «Индустри-

³ Смирнов, А. Ю. Цифровая модель рынка труда: ключевые аспекты работы программного комплекса / А. Ю. Смирнов // Экономика труда. 2023. Т. 10, № 10. С. 1535–1552. DOI: 10.18334/et.10.10.119514.

⁴ Мониторинг рынка труда в сфере общего и среднего профессионального образования (жизненный цикл квалификации). Режим доступа: https://spkobr.ru/upload/docs/Мониторинг_рынка_труда_2023_СПК_в_сфере_образования.pdf. Дата доступа 15.06.2024.

ей 4.0». Эти исследования демонстрируют растущее применение LLM, таких как GPT и BERT, для анализа данных о рынке труда. LLM используются для различных задач, включая классификацию профессий, извлечение информации о навыках, анализ влияния технологических изменений на спрос на рабочую силу и улучшение систем анализа рынка труда.

Однако применение LLM в анализе рынка труда сопряжено и с определенными проблемами. Одна из них – потенциальное смещение, присущее моделям, обученным на исторических данных. Важно обеспечить, чтобы выводы, полученные с помощью LLM, не усугубляли существующие неравенство и дискриминацию на рынке труда. Кроме того, конфиденциальность данных и этические аспекты использования персональной информации в масштабных анализах требуют тщательного рассмотрения.

В рамках исследования проведен сравнительный анализ LLM с другими методами обработки текста в контексте анализа рынка труда, рассмотрены следующие альтернативные методы: методы на основе правил, традиционные методы машинного обучения (ML), классические методы глубинного обучения (DL). Проведено сравнение их по различным критериям (точность, гибкость, вычислительные затраты, простота интерпретации, необходимость в данных, направления использования). Большие языковые модели предоставляют значительные преимущества по сравнению с другими методами обработки текста по вопросам анализа рынка труда благодаря своей высокой точности, гибкости и способности обрабатывать большие объемы неструктурированных данных. Однако их использование связано с очень высокими вычислительными затратами и со сложностью интерпретации результатов. В зависимости от конкретных задач и доступных ресурсов выбор подходящего метода анализа информации о рынке труда может варьироваться от простых правил до сложных моделей глубинного обучения.

В настоящее время существует ряд компаний и платформ, которые используют возможности LLM: LinkedIn, Indeed, Burning Glass Technologies, Textkernel, Gloat. Эти платформы демонстрируют широкий спектр применений LLM в анализе данных о рынке труда – от персонализированного подбора вакансий до прогнозирования будущих потребностей в навыках. С учетом огромной пользовательской базы и растущего внедрения этих технологий они имеют значительный потенциал трансформировать практики рекрутинга и управления талантами во многих отраслях. Каждая платформа имеет свои сильные стороны и ограничения в использовании LLM для анализа данных о рынке труда. LinkedIn и Indeed обладают масштабом и разнообразием данных, Burning Glass Technologies и Textkernel предлагают глубину и специализацию анализа, а Gloat демонстрирует эффективность в оптимизации внутренних рынков труда. Выбор подходящего решения зависит от конкретных потребностей и задач организации в области анализа рынка труда и управления талантами. Дальнейшее развитие и интеграция этих платформ, а также повышение прозрачности в отношении их возможностей и ограничений будут способствовать более эффективному применению LLM в сфере HR-аналитики и принятия управленческих решений о рабочей силе.

В данном исследовании проводился сравнительный анализ как современных, так и более ранних моделей LLM в контексте анализа данных о рынке труда. Рассматривались такие модели, как GPT-4 (OpenAI), BERT (Google), T5 (Google), RoBERTa (Facebook AI) и Claude (Anthropic). Анализ возможностей и ограничений LLM при изучении рынка труда показал, что:

- современные модели, такие как GPT-4 и Claude, демонстрируют высокую гибкость и точность в обработке текста, что позволяет им эффективно анализировать и генерировать текстовые данные, включая анализ вакансий и отзывов. Однако их использование связано с высокими вычислительными затратами и со сложностью интерпретации результатов;

- более ранние модели, BERT, T5 и RoBERTa, также обеспечивают высокую точность, особенно в задачах классификации и анализа текста. Они требуют меньше вычислительных ресурсов по сравнению с современными моделями, но могут быть менее гибкими в задачах генерации текста и обработки длинных контекстов;

- современные модели обладают широкими возможностями для автоматизации и анализа сложных текстовых данных, что делает их полезными для задач, связанных с анализом рынка труда и генерацией аналитических отчетов. Более ранние модели продолжают быть полезными для задач классификации и анализа текста, особенно когда требуется баланс между точностью и вычислительными затратами.

Анализ показал, что как современные, так и более ранние LLM имеют свои сильные и слабые стороны. Выбор модели для конкретного применения должен учитывать требования к точности, гибкости к вычислительным ресурсам.

В задачах машинного обучения и обработки естественного языка для оценки производительности моделей используются показатели точности, полноты и F1-меры. Эти метрики помогают понять, насколько хорошо модель выполняет свои задачи, такие как классификация, извлечение информации или анализ настроений. Эти показатели помогают оценить производительность моделей LLM в контексте задач анализа данных о рынке труда, обеспечивая всестороннее понимание их эффективности и надежности. Анализ показателей LLM при решении задач классификации вакансий и навыков, настроений в отзывах сотрудников и работодателей, точности извлечения ключевой информации из отраслевых отчетов представлены в таблицах 1–3 (составлено по данным⁵).

Таблица 1. Качество классификации вакансий и навыков
Table 1. The quality of job classification and skills

Модель	Точность, %	Полнота, %	F1-мера, %
GPT-4	91,2	89,7	90,4
BERT	78,5	78,9	78,7
T5	79,9	80,3	80,1
RoBERTa	80,1	80,5	80,3
Claude	91,0	89,4	90,2

Таблица 2. Эффективность анализа настроений в отзывах сотрудников и работодателей
Table 2. The effectiveness of sentiment analysis in employee and employer reviews

Модель	Точность, %	Полнота, %	F1-мера, %
GPT-4	92,3	90,7	91,5
BERT	79,8	80,1	79,9
T5	80,4	80,7	80,5
RoBERTa	81,1	78,5	79,8
Claude	91,8	90,2	91,0

Таблица 3. Точность извлечения ключевой информации из отраслевых отчетов
Table 3. Accuracy of extracting key information from industry reports

Модель	Точность, %	Полнота, %	F1-мера, %
GPT-4	93,0	91,4	92,2
BERT	80,2	78,5	79,3
T5	81,5	79,8	80,6
RoBERTa	82,1	80,5	81,3
Claude	92,8	91,2	92,0

Исследование показателей LLM при решении задач анализа данных рынка труда показало, что использование GPT-4 для анализа базы данных с вакансиями может дать более точные результаты благодаря его способности генерировать тексты и учитывать широкий контекст. Например, GPT-4 может анализировать вакансии, выделяя ключевые навыки и требования, что позволяет работодателям и соискателям лучше понимать текущие тенденции. T5 и GPT-4 должны использоваться для автоматической суммаризации больших отчетов о рынке труда. Это позволяет сократить время, затрачиваемое на анализ и составление отчетов, предоставляя пользователям краткие и информативные резюме. Модели RoBERTa и Claude могут эффективно анализировать отзывы сотрудников и работодателей, помогая компаниям понять настроения своих сотрудников и выявить области для улучшения. BERT и RoBERTa показали высокую точность в извлечении ключевой информации из отраслевых отчетов, что может быть полезно для аналитиков, занимающихся исследованием конкретных отраслей, так как модели позволяют быстро извлекать необходимые данные для анализа.

⁵ *Artificial Analysis LLM Performance Leaderboard*. Available: <https://huggingface.co/spaces/ArtificialAnalysis/LLM-Performance-Leaderboard> (Accessed 10 July 2024).

Результаты исследования

Сравнительный анализ LLM с традиционными методами обработки текста (методы на основе правил, ML, DL) демонстрирует их превосходство в точности, гибкости и способности обрабатывать большие объемы неструктурированных данных. Однако это преимущество сопряжено с повышенными вычислительными затратами и со сложностью интерпретации результатов, что указывает на необходимость дальнейших исследований в области оптимизации и объяснимости моделей.

Количественные показатели эффективности различных моделей (GPT-4, BERT, T5, RoBERTa, Claude) в задачах, связанных с анализом рынка труда, демонстрируют высокий уровень точности и надежности. Это подтверждает потенциал LLM как инструмента для повышения качества принятия решений в сфере управления человеческими ресурсами и формирования политики на рынке труда. Выявленные различия в производительности моделей для разных задач (классификация вакансий, анализ настроений, извлечение информации) подчеркивают важность выбора соответствующей модели для конкретных исследовательских или практических целей. Это указывает на необходимость разработки специализированных подходов к применению LLM в зависимости от специфики анализируемых данных и целей исследования.

Интеграция LLM с экспертными знаниями специалистов по управлению человеческими ресурсами и аналитиков рынка труда открывает перспективы для создания гибридных систем поддержки принятия решений. Такой подход может объединить преимущества автоматизированного анализа Big Data с глубоким пониманием контекста и нюансов рынка труда, доступным человеческим экспертам. В Республике Беларусь LLM модели рекомендуется использовать для решения широкого спектра задач в области рынка труда, управления человеческими ресурсами и обработки больших объемов текстовой информации по следующим направлениям:

- для автоматизированного анализа и сопоставления данных вакансий и резюме – модель GPT-4 определяет ключевые навыки, требуемые в вакансиях, и сопоставляет с данными резюме, что способствует подбору наиболее подходящего кандидата на вакансию;

- для анализа настроений персонала и обратной связи – модели RoBERTa и Claude позволяют оценить настроения сотрудников, их удовлетворенность работой, определить области для улучшения корпоративной культуры;

- для прогнозирования потребностей рынка труда – с помощью моделей T5 и GPT-4 возможно провести анализ тенденций на рынке труда, составить прогноз востребованных профессий и навыков, что поможет учреждениям образования и работодателям лучше адаптироваться к будущим потребностям;

- для обработки и извлечения данных из документов – автоматизация процесса обработки юридических документов, контрактов и других текстовых материалов благодаря моделям BERT и RoBERTa обеспечивает быстрое извлечение нужной информации;

- для создания систем поддержки принятия решений – модель GPT-4 обеспечивает формирование различных вариантов решений, анализируя большие массивы данных.

Однако для эффективного и ответственного применения этих технологий необходимы:

- адаптация моделей под специфику белорусского рынка труда – обучение и донастройка моделей на локальных данных для повышения их релевантности и точности;

- соблюдение правовых ограничений – учет национального законодательства в области защиты персональных данных, конфиденциальности и этики использования искусственного интеллекта;

- учет этических аспектов – обеспечение прозрачности алгоритмов, гарантированность того, что применение искусственного интеллекта не нарушает права и свободы граждан;

- инвестиции в инфраструктуру и обучение персонала – предоставление необходимых ресурсов для внедрения технологий и подготовки специалистов, способных эффективно работать с большими языковыми моделями.

Таким образом, интеграция LLM в анализ рынка труда представляет собой многообещающее направление исследований и практических приложений, способное существенно повысить эффективность принятия решений в сфере управления человеческими ресурсами и формирования политики на рынке труда. Однако для полной реализации потенциала этих технологий необходимы дальнейшие исследования, направленные на решение этических проблем, повышение интерпретируемости моделей и их адаптацию к специфическим задачам анализа рынка труда.

Заключение

1. Рассмотрены возможности применения технологий больших данных (Big Data) и больших языковых моделей (Large Language Models, LLM) для анализа рынка труда в Республике Беларусь. Проанализированы методы, которые могут улучшить анализ и прогнозирование на рынке труда с использованием современных технологий.

2. Изучение источников Big Data и их классификация показали, что доступные онлайн данные могут быть эффективно использованы для анализа тенденций занятости и выявления востребованных навыков. Зарубежный опыт продемонстрировал, что применение Big Data и LLM позволяет значительно повысить точность и качество аналитики рынка труда. В частности, успешные проекты в ЕС, такие как ESSnet Big Data и инициативы CEDEFOP, могут служить примерами для адаптации в Беларуси.

3. Рекомендации, представленные в статье, направлены на внедрение эффективных инструментов для анализа рынка труда в республике. Важным аспектом является адаптация успешных зарубежных практик с учетом местных особенностей. Гипотезы исследования подтвердились: применение Big Data и LLM действительно может улучшить анализ рынка труда при условии правильной интеграции и обработки данных.

4. Внедрение передовых аналитических инструментов на основе Big Data обеспечит более полное и детализированное понимание динамики рынка труда, что позволит принимать обоснованные решения и разрабатывать эффективные стратегии управления занятостью.

5. Дальнейшие исследования будут направлены на углубленный анализ Big Data, интеграцию различных их источников для создания более полной картины рынка труда, разработку методик оценки эффективности использования Big Data и LLM в анализе рынка труда, исследование успешных зарубежных практик и разработку рекомендаций по их адаптации для условий Беларуси, изучение возможностей автоматизации процессов анализа и масштабирования решений на национальном уровне.

6. Результаты исследования могут быть использованы для создания современных политик и программ, направленных на развитие рынка труда и адаптацию к вызовам цифровой экономики.

Список литературы

1. Mezzanzanica, M. Big Data for Labour Market Intelligence – An Introductory Guide / M. Mezzanzanica, F. Mercorio // European Training Foundation. 2019. <https://www.etf.europa.eu/en/publications-and-resources/publications/big-data-labour-market-intelligence-introductory-guide>.
2. Speaking the Same Language: A Machine Learning Approach to Classify Skills in Burning Glass Technologies Data / J. Lassébie [et al.] // OECD Social, Employment and Migration Working Papers. 2021. No 263. <https://doi.org/10.1787/adb03746-en>.
3. Samek, L. The Human Capital Behind AI: Jobs and Skills Demand from Online Job Postings / L. Samek, M. Squicciarini, E. Cammeraat // OECD Science, Technology and Industry Policy Papers. 2021. No 120. <https://doi.org/10.1787/2e278150-en>.
4. Djumalieva, J. An Open and Data-Driven Taxonomy of Skills Extracted from Online Job Adverts / J. Djumalieva, C. Sleeman // Developing Skills in a Changing World of Work. 2018. P. 425–454.
5. Deming, D. Skill Requirements Across Firms and Labor Markets: Evidence from Job Postings for Professionals / D. Deming, L. B. Kahn // Journal of Labor Economics. 2018. Vol. 36, No S1. P. S337–S369.
6. Djumalieva, J. Classifying Occupations According to Their Skill Requirements in Job Advertisements / J. Djumalieva, A. Lima, C. Sleeman // Economic Statistics Centre of Excellence. 2018. P. 1–37.
7. Bayoán, J. Valuing the U. S. Data Economy Using Machine Learning and Online Job Postings U. S. / J. Bayoán, S. Calderón, D. G. Rassier // Bureau of Economic Analysis. 2022. <https://www.bea.gov/research/papers/2022/valuing-us-data-economy-using-machine-learning-and-online-job-postings>.
8. Cammeraat, E. Burning Glass Technologies' Data Use in Policy-Relevant Analysis: An Occupation-Level Assessment / E. Cammeraat, M. Squicciarini // OECD Science, Technology and Industry Working Papers. 2021. <https://doi.org/10.1787/cd75c3e7-en>.
9. Goldfarb, A. Machine Learning Be a General Purpose Technology? A Comparison of Emerging Technologies Using Data from Online Job Postings / A. Goldfarb, B. Taska, F. Teodoridis // SSRN. 2021. <https://ssrn.com/abstract=3468822>.
10. Brüning, N. What Skills do Employers Seek in Graduates? Using Online Job Posting Data to Support Policy and Practice in Higher Education / N. Brüning, P. Mangeol // OECD Education Working Papers. 2020. No 231. P. 1–47. <https://doi.org/10.1787/bf533d35-en>.

11. Predicting Skill Shortages in Labor Markets: A Machine Learning Approach / N. Dawson [et al.] // 2020 IEEE International Conference on Big Data (Big Data). 2020. P. 3052–3061.
12. Brown, P. The End of the Credential Society? An Analysis of the Relationship Between Education and the Labour Market Using Big Data / P. Brown, M. Souto-Otero // *Journal of Education Policy*. 2018. Vol. 35, No 1. P. 95–118. <https://doi.org/10.1080/02680939.2018.1549752>.
13. Beblavý, M. Demand for Digital Skills in the US Labour Market: The IT Skills Pyramid / M. Beblavý, Br. Fabo, K. Lenaerts // CEPS Special Report. 2016. No 154.
14. Fetsi, A. Changing Skills for a Changing World: Understanding Skills Demand in EU Neighbouring Countries / A. Fetsi, U. Bardak, F. Rosso // European Training Foundation. 2021. https://www.bollettinoadapt.it/wp-content/uploads/2021/02/wcms_771749.pdf.
15. Смирнов, А. Ю. Цифровая модель рынка труда: ключевые аспекты работы программного комплекса / А. Ю. Смирнов // *Экономика труда*. 2023. Т. 10, № 10. С. 1535–1552. DOI: 10.18334/et.10.10.119514.
16. Волгин, Н. А. Спрос на навыки: анализ на основе онлайн-данных о вакансиях* [Электронный ресурс] / А. Д. Волгин, В. Е. Гимпельсон. М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2021.
17. Терников, А. А. Искусственный интеллект и спрос на навыки работников в России / А. А. Терников // *Вопросы экономики*. 2023. № 11. С. 65–80.
18. Ванкевич, Е. В. Изменение подходов к анализу конъюнктуры рынка труда в условиях цифровизации экономики (на примере текстильной промышленности Республики Беларусь) / Е. В. Ванкевич, И. Н. Калиновская // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. 2022. Т. 401, № 5. С. 27–37. DOI: 10.47367/0021-3497_2022_5_27.
19. Vankevich, A. Better Understanding of the Labour Market Using Big Data / A. Vankevich, I. Kalinouskaya // *Economics and Law*. 2021. Vol. 20, No 3. P. 677–692.
20. Козинец, А. Н. Применение интеллектуального анализа для прогнозирования успешности трудоустройства социально уязвимых групп / А. Н. Козинец // *Цифровая трансформация*. 2024. Т. 30, № 2. С. 33–42. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-2-33-42>.
21. AI and Jobs: Evidence from Online Vacancies. National Bureau of Economic Research / D. Acemoglu [et al.] // NBER Working Paper. 2020. No 28257. P. 1–55. <https://www.nber.org/papers/w28257>.
22. Colombo, E. AI Meets Labor Market: Exploring the Link Between Automation and Skills / E. Colombo, F. Mercorio, M. Mezzanzanica // *Information Economics and Policy*. 2019. Vol. 47. P. 27–37. <https://doi.org/10.1016/j.infoecopol.2019.05.003>.
23. Estimating Industry 4.0 Impact on Job Profiles and Skills Using Text Mining / S. Fareri [et al.] // *Computers in Industry*. 2020. Vol. 118. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103222>.

References

1. Mezzanzanica M., Mercorio F. (2019) Big Data for Labour Market Intelligence – An Introductory Guide. *European Training Foundation*. <https://www.etf.europa.eu/en/publications-and-resources/publications/big-data-labour-market-intelligence-introductory-guide>.
2. Lassébie J., Marcolin L., Vandeweyer M., Vignal B. (2021) Speaking the Same Language: A Machine Learning Approach to Classify Skills in Burning Glass Technologies Data. *OECD Social, Employment and Migration Working Papers*. (263). <https://doi.org/10.1787/adb03746-en>.
3. Samek L., Squicciarini M., Cammeraat E. (2021) The Human Capital Behind AI: Jobs and Skills Demand from Online Job Postings. *OECD Science, Technology and Industry Policy Papers*. (120). <https://doi.org/10.1787/2e278150-en>.
4. Djumalieva J., Sleeman C. (2018) An Open and Data-Driven Taxonomy of Skills Extracted from Online Job Adverts. *Developing Skills in a Changing World of Work*. 425–454.
5. Deming D., Kahn L. B. (2018) Skill Requirements Across Firms and Labor Markets: Evidence from Job Postings for Professionals. *Journal of Labor Economics*. 36 (S1), S337–S369.
6. Djumalieva J., Lima A., Sleeman C. (2018) Classifying Occupations According to Their Skill Requirements in Job Advertisements. *Economic Statistics Centre of Excellence*. 1–37.
7. Bayoán J., Calderón S., Rassier D. G. (2022) Valuing the U. S. Data Economy Using Machine Learning and Online Job Postings U. S. *Bureau of Economic Analysis*. <https://www.bea.gov/research/papers/2022/valuing-us-data-economy-using-machine-learning-and-online-job-postings>.
8. Cammeraat E., Squicciarini M. (2021) Burning Glass Technologies’ Data Use in Policy-Relevant Analysis: An Occupation-Level Assessment. *OECD Science, Technology and Industry Working Papers*. <https://doi.org/10.1787/cd75c3e7-en>.
9. Goldfarb A., Taska B., Teodoridis F. (2021) Machine Learning Be a General Purpose Technology? A Comparison of Emerging Technologies Using Data from Online Job Postings. *SSRN*. <https://ssrn.com/abstract=3468822>.

10. Brüning N., Mangeol P. (2020) What Skills Do Employers Seek in Graduates? Using Online Job Posting Data to Support Policy and Practice in Higher Education. *OECD Education Working Papers*. (231). <https://doi.org/10.1787/bf533d35-en>.
11. Dawson N., Rizoiu M.-A., Johnston B., Williams M.-A. (2020) Predicting Skill Shortages in Labor Markets: A Machine Learning Approach. *2020 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*. 3052–3061.
12. Brown P., Souto-Otero M. (2018) The End of the Credential Society? An analysis of the Relationship Between Education and the Labour Market Using Big Data. *Journal of Education Policy*. 35 (1), 95–118. <https://doi.org/10.1080/02680939.2018.1549752>.
13. Beblavý M., Fabo Br., Lenaerts K. (2016) Demand for Digital Skills in the US Labour Market: The IT Skills Pyramid. *CEPS Special Report*. (154).
14. Fetsi A., Bardak U., Rosso F. (2021) Changing Skills for a Changing World: Understanding Skills Demand in EU Neighbouring Countries. *European Training Foundation*. https://www.bollettinoadapt.it/wp-content/uploads/2021/02/wcms_771749.pdf.
15. Smirnov A. Y. (2023) Digital Model of the Labor Market: Key Aspects of the Software Package. *Labor Economics*. 10 (10), 1535–1552. DOI: 10.18334/et.10.10.119514 (in Russian).
16. Volgin N. A., Gimpelson V. E. (2021) *Demand for Skills: Analysis Based on Online Job Data*. Moscow, Publishing House of the Higher School of Economics (in Russian).
17. Chernikov A. A. (2023) Artificial Intelligence and the Demand for Workers' Skills in Russia. *Questions of Economics*. (11), 65–80 (in Russian).
18. Vankevich A. V., Kalinovskaya I. N. (2022) Changing Approaches to the Analysis of Labor Market Conditions in the Context of Digitalization of the Economy (on the Example of the Textile Industry of the Republic of Belarus). *News of Universities. Technology of the Textile Industry*. 401 (5), 27–37. DOI: 10.47367/0021-3497_2022_5_27 (in Russian).
19. Vankevich A., Kalinovskaya I. (2021) Better Understanding of the Labour Market Using Big Data. *Economics and Law*. 20 (3), 677–692.
20. Kazinets A. N. (2024) Application of Intelligent Data Analysis to Predict the Employment Success of Socially Vulnerable Groups. *Digital Transformation*. 30 (2), 33–42. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-2-33-42>. (in Russian).
21. Acemoglu D., Autor D., Hazell J., Restrepo P. (2020) AI and Jobs: Evidence from Online Vacancies. *NBER Working Paper*. (28257), 1–55. <https://www.nber.org/papers/w28257>.
22. Colombo E., Mercorio F., Mezzanzanica M. (2019) AI Meets Labor Market: Exploring the Link Between Automation and Skills. *Information Economics and Policy*. 47, 27–37. <https://doi.org/10.1016/j.infoecopol.2019.05.003>.
23. Fareri S., Fantoni G., Chiarello F., Coli E., Binda A. (2020) Estimating Industry 4.0 Impact on Job Profiles and Skills Using Text Mining. *Computers in Industry*. 118. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103222>.

Вклад авторов / Authors' contribution

Авторы внесли равный вклад в написание статьи / The authors contributed equally to the writing of the article.

Сведения об авторах

Ванкевич Е. В., д-р экон. наук, проф., проректор по научной работе, Витебский государственный технологический университет

Калиновская И. Н., канд. техн. наук, доц. каф. экономики и электронного бизнеса, Витебский государственный технологический университет

Адрес для корреспонденции

210039, Республика Беларусь,
г. Витебск, просп. Московский, 72
Витебский государственный
технологический университет
Тел.: +375 29 663-05-49
E-mail: vankevich_ev@tut.by
Ванкевич Елена Васильевна

Information about the authors

Vankevich A. V., Dr. of Sci. (Econ.), Professor, Vice-Rector for Research, Vitebsk State Technological University

Kalinovskaya I. N., Cand. of Sci., Associate Professor at the Department of Economics and Electronic Business, Vitebsk State Technological University

Address for correspondence

210039, Republic of Belarus,
Vitebsk, Moskovsky Ave., 72
Vitebsk State
Technological University
Tel.: +375 (29) 663-05-49
E-mail: vankevich_ev@tut.by
Vankevich Alena Vasilievna



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-4-33-41>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 334.012:338.46:37

ТРАНСФОРМАЦИЯ ГОСУДАРСТВЕННО-ЧАСТНОГО ПАРТНЕРСТВА В ОБРАЗОВАНИИ ПОД ВЛИЯНИЕМ ПРОЦЕССОВ ЦИФРОВИЗАЦИИ

И. А. ПОЛЯКОВА

*Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины
(г. Витебск, Республика Беларусь)*

Поступила в редакцию 30.04.2024

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2024
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2024

Аннотация. Внедрение в образовательный процесс цифровых технологий привело к значительным изменениям во взаимодействии государства и частного бизнеса в образовании. В статье рассматривается трансформация механизма государственно-частного партнерства в образовании под влиянием процессов цифровизации. Выделены два этапа взаимодействия: при осуществлении традиционного образовательного процесса и образовательного процесса в условиях внедрения цифровых технологий. Методологической основой исследования являлись научные публикации отечественных и зарубежных авторов, открытые библиотечные интернет-ресурсы, данные международных организаций и международных исследований.

Ключевые слова: государственно-частное партнерство, цифровизация, цифровые технологии, транснациональные технологические компании, глобализация образования.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Полякова, И. А. Трансформация государственно-частного партнерства в образовании под влиянием процессов цифровизации / И. А. Полякова // Цифровая трансформация. 2024. Т. 30, № 4. С. 33–41. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-4-33-41>.

TRANSFORMATION OF PUBLIC-PRIVATE PARTNERSHIP IN EDUCATION UNDER THE INFLUENCE OF DIGITIZATION PROCESSES

IRYNA A. PALIAKOVA

Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine (Vitebsk, Republic of Belarus)

Submitted 30.04.2024

Abstract. The introduction of digital technologies into the educational process has led to significant changes in the interaction of the state and private business in education. The article examines the transformation of the mechanism of public-private partnership in education under the influence of digitalization processes. Two stages of interaction are distinguished: in the implementation of the traditional educational process and the educational process in the context of the introduction of digital technologies. The methodological basis of the study were scientific publications of domestic and foreign authors, open library Internet resources, data from international organizations and international studies.

Keywords: public-private partnership, digitalization, digital technologies, transnational technology companies, globalization of education.

Conflict of interests. The author declares no conflict of interests.

For citation. Paliakova I. A. (2024) Transformation of Public-Private Partnership in Education Under the Influence of Digitization Processes. *Digital Transformation*. 30 (4), 33–41. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-4-33-41> (in Russian).

Введение

Государственно-частное партнерство (ГЧП) на протяжении длительного периода времени многими странами рассматривалось как стратегия, направленная на решение проблем в социальной сфере. Свое развитие стратегия в системе образования получила в экономически развитых государствах и при содействии международных организаций (в частности, Всемирного банка и Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР)) стала продвигаться в развивающиеся страны. Государственно-частное партнерство, как макроэкономическая категория, – «система отношений государства и бизнеса, которая используется в качестве инструмента национального, международного, регионального, городского, муниципального экономического и социального развития и планирования» [1]. Общая цель использования механизма ГЧП в системе образования – увеличение объемов, повышение качества и доступности образовательных услуг. Государство, как экономический субъект, при использовании стратегии ГЧП в системе образования разделяет функции производителя и поставщика услуг, финансиста и управленца, а также ответственность за функционирование сферы образования с частным бизнесом.

Реализуясь на микроуровне, ГЧП приобретает форму проектов, базовыми характеристиками которых являются: общественная направленность, закрепление на юридической основе взаимодействия сторон – государства и бизнеса, консолидация ресурсов сторон, равноправное и взаимовыгодное сотрудничество, распределение затрат, рисков и прибыли в заранее установленных пропорциях. Предметом ГЧП выступают общественная (государственная) собственность, а также услуги, оказываемые государственными (республиканскими, местными) органами власти и бюджетными организациями. Принципиально важной характеристикой ГЧП является то, что при наличии соглашений между государством и частным сектором, направленных на использование общественной инфраструктуры или предоставление государственных услуг частными организациями, государственный сектор не снимает с себя обязательств по выполнению социальных функций и сохраняет стратегический контроль над состоянием социально значимых объектов и предоставлением услуг.

Под воздействием процесса цифровизации система образования приобретает новые характеристики, трансформируется механизм ГЧП, что вызывает научный интерес. Цель исследования автора – изучение зарубежного опыта использования механизма ГЧП в системе образования и его трансформация под влиянием цифровых технологий. Методологической основой исследования являлись научные публикации отечественных и зарубежных авторов, открытые библиотечные интернет-ресурсы, данные международных организаций и международных исследований.

Результаты исследований и их обсуждение

Исторически развитие ГЧП в образовании осуществлялось по трем направлениям: контрактное, институциональное и различные формы общественного взаимодействия. Контрактное направление предполагает совместное решение актуальных проблем в системе образования через заключение государственным и частным партнерами соответствующего договора (контракта). Институциональное направление связано с созданием государством и частным бизнесом организационной структуры (корпоративные университеты, бизнес-школы, исследовательские центры), нацеленной на решение конкретных научных, образовательных и исследовательских задач. Третье направление представлено различными формами общественного взаимодействия. В отличие от предыдущих двух оно не имеет коммерческой направленности, носит исключительно добровольный благотворительный характер и реализуется посредством создания эндаумент-фондов, работы попечительских советов и проч.

В мировой практике использования ГЧП в образовании наиболее широкое распространение получили контрактные формы. Специалист Всемирного банка Г. Патринос [2] выделяет следующие виды контрактов в сфере образования:

– управление, оказание профессиональных и вспомогательных услуг – органы государственной власти оплачивают услуги профессионального управления образовательными учреждениями

ми (управление финансами и персоналом), либо управление отдельными услугами (транспортные услуги, услуги питания), разработку и/или предоставление учебных программ, учебников и других учебных материалов, подготовку учителей. Цели – повышение качества и экономия бюджетных средств, которые могут быть обеспечены за счет эффективности управления при оказании соответствующего вида услуг, а также инновационное развитие государственного учреждения образования;

– оперативное управление – государственный партнер заключает срочный контракт с частными структурами на оказание широкого круга услуг по управлению государственным учебным заведением и его обеспечению кадровым составом. Данный вид контракта направлен на повышение качества и расширение доступности образовательных услуг;

– оказание образовательных услуг – частное образовательное учреждение (частный партнер) заключает контракт на оказание образовательных услуг с государственным партнером. В качестве финансового механизма реализации этого вида ГЧП может использоваться предоставление стипендий, ваучеров и субсидий. Данный вид контрактов имеет социальную направленность, т. е. нацеленность на повышение доступности образования для всех слоев населения, а также повышение качества образовательных услуг;

– вложения в инфраструктуру – органы государственной власти различных уровней на конкурсной основе, в том числе через организацию и проведение тендера, привлекают частный бизнес для строительства и реконструкции учреждений образования. Данная форма сотрудничества нацелена на развитие и улучшение инфраструктуры образовательных учреждений. Инфраструктурные ГЧП, которые характеризуются большим количеством сделок на сравнительно небольшие суммы, как показал мировой опыт, получили наибольшее распространение в образовании. Это объясняется необходимостью периодической реконструкции или строительства значительного количества небольших по сравнению с другими отраслями объектов (учебные корпуса, библиотеки, общежития, спортивные площадки). Наиболее распространенным в системе образования механизмом инфраструктурных ГЧП выступает Build-Operate-Transfer (BOT), в соответствии с которым частный партнер получает концессию на строительство и управление учебным заведением – зданием школы, университета, либо его структурным элементом (общежитием). В течение срока реализации проекта созданный объект правительство арендует, после чего он передается в собственность государства. Инфраструктурные ГЧП выступают средством мобилизации частного капитала и способом разрешения противоречия между растущими потребностями в инфраструктуре и ограниченными возможностями государственного бюджета.

Приведенный перечень может быть дополнен такими формами контрактных ГЧП, как инновационное и научно-исследовательское – предполагают использование механизма партнерства при реализации программ коммерциализации государственных НИР.

Применение механизма ГЧП в образовании как развитых, так и развивающихся стран выявило ряд проблем:

– отмечается негативное влияние на условия труда педагогических работников – неполный рабочий день, краткосрочные контракты, зависимость заработной платы и условий труда от частного партнера;

– получение прибыли частным партнером часто происходит за счет увеличения государственных расходов (соответственно, налогов) практически при отсутствии рисков со стороны частного партнера;

– возможность возникновения коррупционных схем и конфликта интересов при выборе частных партнеров.

Эксперты отмечают и неоднозначное влияние ГЧП на качество образования. В странах, в которых государственное образование характеризуется низким уровнем, использование ГЧП оценивается позитивно – слаборазвитые страны рассматривают ГЧП как финансовую и техническую поддержку системы образования, источник образовательных реформ. Если государственное образование находится на высоком уровне, ГЧП часто обвиняют в деградации образовательных стандартов, коммерциализации образования, изменении в негативную сторону роли педагога, снижении «духа» государственного образования, что приносит с собой мышление частного сектора, при котором рыночная концепция конкуренции и нацеленности на получение прибыли ставит в противовес общечеловеческие ценности.

Параллельно с развитием форм ГЧП на микроуровне, разработкой и совершенствованием политики регулирования ГЧП в образовании на макроуровне, механизм взаимодействия государства и частного бизнеса перешагнул национальные границы и стал развиваться на мировом уровне. По инициативе Всемирного экономического форума в 2002 г. было создано Глобальное партнерство в области образования (Global Partnership for Education, GPE) – крупнейший глобальный фонд, партнерство с участием многих заинтересованных сторон, предназначенное для преобразования образования в странах с низким уровнем дохода¹. Это стало началом нового этапа взаимодействия государства и бизнеса в образовании. Характеристика ГЧП, как экономической категории, на данном этапе предполагает широкую трактовку – как любых форм договорных отношений государства и предпринимательских и общественных структур. GPE в данном контексте может рассматриваться как одна из моделей ГЧП. GPE открыто (явно) не предусматривает коммерческую выгоду договорных отношений, однако влияние Глобального партнерства на процессы, происходящие в современном образовании на международном и национальном уровне ряда стран, – огромное, что не позволяет его игнорировать. Глобальное партнерство в области образования можно отнести к многонациональным компаниям, участвующим в реализации на национальном уровне глобальных образовательных инициатив в партнерстве с учреждениями ООН, международными финансовыми институтами и организациями гражданского общества. В основу деятельности GPE заложена философия корпоративной социальной ответственности. Участниками GPE являются ЮНЕСКО, Всемирный банк, ПРООН и ЮНИСЕФ. При осуществлении международных проектов в образовании они участвуют в партнерских отношениях с крупными корпорациями (Microsoft, INTEL, CISCO) и фондами (Карнеги, Рокфеллера, Форда, Билла и Мелинды Гейтс). Одни из первых проектов (2002–2005 гг.), которые были реализованы Глобальным партнерством в области образования при участии корпораций, представлены в табл. 1.

Таблица 1. Многосторонние партнерства в образовании
Table 1. Multi-stakeholder partnerships in education

Организация, фонд	Страна	Направление проекта
ЮНЕСКО, Катарский фонд образования, науки и общественного развития	Ирак	Реконструкция высшего образования
ЮНЕСКО и Фонд Форда	Арабские государства	Обеспечение качества высшего образования
ЮНЕСКО и Microsoft	В странах мира	ИКТ для продвижения образования
ПРООН и HONDA	Малайзия	Высшее образование/повышение квалификации
ПРООН и Coca Cola, 2002 г.	Малайзия	«Электронное обучение на всю жизнь» – преодоление цифрового разрыва
ПРООН и Cisco Systems	Вьетнам	Интернет-образование, доступность Cisco Networking
	Малообеспеченные слои населения Азиатско-Тихоокеанского региона	Преодоление «цифрового разрыва»
	160 стран мира (на 2004 г.)	Обучение студентов навыкам планирования, создания и развертывания интернет-сетей
ПРООН и Microsoft	Для правительств стран с недостаточно развитой технологией по интеграции ИКТ в национальные образовательные стратегии	Ускорить внедрение ИКТ в школах и на благо более широких сообществ

¹ *Global Partnership for Education*. Available: <https://www.globalpartnership.org/who-we-are/about-gpe> (Accessed 14 January 2024).

Окончание табл. 1
Ending of Tab. 1

Организация, фонд	Страна	Направление проекта
Всемирный экономический форум, международные IT-компании	Образовательная инициатива Иордании (JEI) 2005 г.	ИКТ в образовании – разработка полной электронной учебной программы по математике (1–12 классы)
	Палестинская образовательная инициатива (PEI) 2005 г.	Использование информационных и коммуникационных технологий в системе образования
	Египетская образовательная инициатива (EEI)	Создание виртуального учебного сообщества, построение модели образовательной реформы, которую можно экспортировать и воспроизводить во всем арабском регионе
	Образовательная инициатива Раджастхана (Индии) (REI) 2005 г.	Компьютерное образование
	Глобальный образовательный альянс (GEA) в Руанде	Обеспечение недорогого и доступного подключения к интернету

Источник: составлено по [3].

Пандемия COVID-19 способствовала созданию Глобальной коалиции по вопросам образования [4]. «Глобальная коалиция, созданная ЮНЕСКО, представляет собой многосекторное партнерство для обеспечения надлежащего дистанционного обучения для всех учащихся»². В нее вошли партнеры из разных секторов, включая международные (ЮНИСЕФ, ВОЗ, Всемирный банк, GPE, ОЭСР, Фонд ООН «Образование не может ждать» (ECW)) и некоммерческие организации (Академия Хана (Khan Academy), Фонд Викимедиа, Code.org, ISTE), частные компании (Microsoft, Facebook, Google, Weidong, Zoom, Coursera, Moodle) и ряд других медиаорганизаций и сетей.

В период пандемии Глобальная коалиция по вопросам образования курировала доступ к техническим ресурсам для обучения, часть из которых являлась бесплатной, остальные обеспечивали возможность бесплатного пользования в течение ограниченного периода времени (пандемии COVID-19). Деятельность коалиции (благотворительные и инвестиционные ресурсы) при участии правительств стран и влиятельных политических лидеров способствовала расширению использования цифровых, в том числе коммерческих, технологий в образовании, что привело к изменению свойств образовательной услуги, характеристик образовательного процесса (табл. 2), увеличению количественного состава его участников, модификации их влияния на образовательный процесс и, соответственно, формированию новой модели образовательной системы.

Таблица 2. Сравнительная характеристика свойств традиционного образовательного процесса и образовательного процесса, основанного на цифровых технологиях

Table 2. Comparative characteristics of the properties of the traditional educational process and the educational process based on digital technologies

Традиционный образовательный процесс	Образовательный процесс, основанный на цифровых технологиях
Неотделимость от субъекта предоставления услуги	Временное несовпадение процессов производства и потребления
Межличностная коммуникация	Цифровая коммуникация
Несохраняемость (неспособность к хранению) – одномоментность производства и потребления	Возможность образования товарных запасов (доступ к заранее разработанным образовательным продуктам)
Ведущая роль (доминанта) преподавателя	Ведущая роль (доминанта) обучающегося
Ограниченный образовательный контент	Безграничный образовательный контент

² ЮНЕСКО [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ru.unesco.org/covid19/globaleducationcoalition>. Дата доступа: 20.12.2023.

Окончание табл. 2
Ending of Tab. 2

Традиционный образовательный процесс	Образовательный процесс, основанный на цифровых технологиях
Зависимость от места оказания услуги	Делокализация, онлайн-доступность
Дискретная периодичность	Независимость от временного фактора, разноскоростное обучение
Систематизация	Десистематизация
Ограниченное количество первичных потребителей (слушателей)	Массовизация, неограниченное количество первичных потребителей
Направления развития определяются государственной программой, приоритет – социальные цели	Развитие определяется востребованностью – запрос рынка труда. Приоритет – экономическая эффективность производителя и потребителя
Широкие цели образования, ориентация на знания, формирование интеллектуальных навыков и умений, мотивационной составляющей к процессу обучения	Ориентация на востребованные для деловой карьеры компетенции, отказ от фундаментального академического образования, ущерб гуманитарной составляющей
Система ценностей формируется государством	Система ценностей формируется поставщиком образовательного контента
Доминирование формального сектора (структурирование образования по целям и продолжительности, образовательный процесс проводится в соответствии с утвержденными программами и предполагает выдачу документа об образовании)	Доминирование неформального сектора (не предполагает наличие единых, стандартизированных требований к образовательному процессу и результатам образовательной деятельности; возможность отказа от государственного ресурса)
Значительные затраты времени на обработку информации при подготовке и осуществлении образовательного процесса	Высокая скорость обработки больших объемов информации
Проблема обеспечения интеллектуальной собственности слабо выражена	Проблема обеспечения интеллектуальной собственности, проблема безопасности личных данных
Ориентация на локальный рынок	Ориентация на глобальный рынок
Необходимость наличия реальной образовательной инфраструктуры (здания, классы)	Зависимость от цифровой инфраструктуры и качества программного обеспечения
Высокий уровень затрат на производство и оказание образовательных услуг	Экономия за счет сокращения потребности в квалифицированном профессорско-преподавательском составе и реальной образовательной инфраструктуре
Потенциал развития сферы образования связан с интеллектуальными и финансовыми ресурсами	Развитие обусловлено технологическим прогрессом (искусственным интеллектом, дополненной и виртуальной реальностью)

Авторская разработка.

Внедрение цифровых технологий в образовательный процесс привело к появлению новых участников рынка образования. Наряду с правительствами стран, учебными заведениями, первичными (учащиеся, слушатели) и конечными (фирмы, предприятия, общество) потребителями, активными участниками рынка образования, выступили:

- международные компании в сфере образования;
- транснациональные технологические компании (Google, Microsoft, Amazon и др.);
- социальные сети – платформа социальных сетей TikTok в июне 2020 г. объявила о партнерстве с сотнями университетов, экспертов и благотворительных организаций для создания образовательного контента;
- филантропы (наиболее влиятельные в образовании – Дж. Сорос и лидеры крупных IT-корпораций). На финансирование мер реагирования на COVID-19 в сфере образования направили

вили средства Фонд Билла и Мелинды Гейтс, компания Facebook, благотворительная организация CZI Марка Цукерберга и др. Целевое использование средств – обеспечение высокоскоростного широкополосного доступа для школ, ресурсов онлайн-обучения и учебных программ, программ виртуального обучения, финансирование советов по лидерству, политических организаций;

– посредники-поставщики цифровой инфраструктуры образовательного процесса: провайдеры интернет-услуг, обеспечивающие возможность онлайн-обучения; компании-разработчики инструментов для общения в социальных сетях (например, WhatsApp), мобильных и компьютерных приложений электронного обучения, видеоконференций (Zoom, Skype), систем управления обучением (Moodle); собственники платформ дистанционного обучения, облачных хранилищ данных, банков ресурсов, веб-сайтов и др.

Цифровизация приводит к созданию единого глобального образовательного пространства и появлению зависимости образования (как национальных систем образования, так и образовательного контента) от нескольких крупных корпораций, занимающихся информационными технологиями, и филантропов, большинство из которых – лидеры этих IT-корпораций. Вектор развития сферы образования начинает формироваться технологическими достижениями – искусственным интеллектом, робототехникой, технологиями виртуальной и дополненной реальности.

Изменяется расстановка сил между участниками образовательного процесса. Под влиянием тенденций глобализации уменьшается роль государства, как экономического субъекта, в образовательной политике и снижаются его возможности оказывать воздействие на процессы, происходящие в образовании, и содержание образовательного контента. Во-первых, это происходит под воздействием устанавливаемых международными субъектами и акторами правил и на основе проведения рейтинговыми агентствами сравнительной оценки достижения результатов национальными системами образования относительно глобальных учебных программ. Во-вторых, формируется глобальный цифровой контент. В частности, в настоящее время в 40 странах, включая Зимбабве, Египет, Мексику, Коста-Рику, Судан, Лаосскую НДР, Нигерию, Польшу, Украину, Казахстан, Республику Узбекистан, Кыргызскую Республику, Сербию, работает цифровая образовательная платформа Learning Passport³. Более 20 стран находятся на различных стадиях процесса присоединения к ней. Платформа была разработана и запущена в 2020 г. компанией Microsoft в сотрудничестве с ЮНИСЕФ при поддержке Кембриджского университета. Как отмечено на официальном сайте, Learning Passport – это онлайн-, мобильная и офлайн-платформа, обеспечивающая постоянный доступ к качественному образованию. Она отличается гибкостью и адаптируемостью, что позволяет странам легко и быстро принять Learning Passport в качестве своей национальной системы управления обучением или использовать как дополнение к существующим платформам цифрового обучения.

В-третьих, альтернативой государственным аттестационным комиссиям по своей сути может стать внедрение в образовательное пространство цифровых программ оценки компетенций и сервисов их учета. Наиболее популярными платформами, с помощью которых авторами образовательных курсов могут выдаваться цифровые мини-дипломы, отражающие профессиональные и иные навыки и достижения в сфере формального и неформального образования, уже являются Credly, Badgecraft, Accredible, Badgr, Mozilla Open Badges. Способность выдавать бейджи интегрирована в системы управления образовательными курсами и сервисы Totara Learn, Moodle, Blackboard Learn LinkedIn, Facebook⁴, Twitter и WordPress и др. Эмитентами дипломов могут выступать традиционные образовательные учреждения, профессиональные объединения, интернет-инициативы. Через проект Open Badges⁵, по заявлению компании разработчика, выпускать бейджи планируют PBS (Public Broadcasting Service – частная корпорация, которая предлагает гражданам США широкий спектр образовательных и развлекательных программ, транслируемый по телевидению и в виде интернет-контента), P2PU (онлайн-открытое учебное сообщество), Intel и Департамент образования США. Значки, выпущенные в рамках проекта Open Badges, содержат метаданные, которые указывают на эмитента бейджа, его критерии и иную информацию. Они были разработаны NASA, Disney-Pixar, 4-H и DigitalMe. Полученные бейджи пользователи могут размещать в своих профилях в социальных сетях, в портфолио, на персональных сайтах.

³ *Learning Passport*. Available: <https://www.learningpassport.org/where-we-work/> (Accessed 24 January 2024).

⁴ Решением Роскомнадзора от 4 марта 2022 года доступ к Facebook на территории Российской Федерации ограничен.

⁵ *Open Badges*. Available: <https://openbadges.org/> (Accessed 20 January 2024).

Внедрение в рамках механизма Глобального партнерства цифровых технологий в образование может представлять значительные угрозы на микро- и макроуровнях. Функционально цифровые образовательные платформы и отдельные онлайн-сервисы имеют собственные возможности для накопления, хранения, анализа и использования конфиденциальных личных данных, в том числе биометрических, характеризующих пользователей-потребителей образовательного контента. Данный функционал позволяет улучшить и персонализировать обучение, сформировать индивидуальный запрос и выстроить индивидуальную траекторию обучения, обеспечивает удаленную идентификацию пользователя. Образовательные сервисы могут включать функции удаленной диагностики психофизического состояния обучаемого, в частности, названная выше обучающая цифровая платформа Learning Passport позволяет оказывать эмоциональную и психологическую поддержку ученикам и учителям. Несмотря на принятые политики защиты данных и конфиденциальности, актуальность приобретает проблема правомерности накопления, систематизации и применения соответствующей информации. Сформированные базы, содержащие личные данные, могут использоваться самими корпорациями-разработчиками образовательного контента и цифровой образовательной инфраструктуры, могут рассматриваться как объект несанкционированного доступа, купли-продажи заинтересованным лицам или компаниям с целью разработки коммерческих продуктов под конкретные «запросы», осуществления таргетированной рекламы, оказания скрытого и открытого воздействия на конкретного человека либо группу лиц. Это представляет ряд угроз и, в том числе, может рассматриваться как угроза национальной безопасности страны, использующей разработки корпораций-участников Глобального партнерства. Риски носят не только теоретический характер – неоднократно в открытом доступе на платформе YouTube появлялись записи корпоративных совещаний, школьных занятий и сеансов психотерапии, которые были сделаны сервисом видеотелефонии Zoom. Из-за обмена данными с Facebook компания Zoom стала ответчиком по иску о нарушении конфиденциальности⁶.

Таким образом, внедрение цифровых технологий в сферу образования приводит к формированию новой модели образовательной системы. Частные глобальные корпорации становятся активными участниками рынка образования и могут оказывать значительное влияние на правительства стран с целью лоббирования продвижения своих услуг на национальные рынки образования. Это может происходить через участие в социально-экономических программах, финансирование политических кампаний, посредством механизма стратегического партнерства. Учитывая экономическую мощь глобальных корпораций, возникает риск утраты контроля и государственного влияния на образовательную политику и государственные образовательные стандарты, что негативным образом может повлиять на национальную конкурентоспособность.

Заключение

1. Проведенное исследование позволяет выделить два этапа взаимодействия государства и частного бизнеса в образовании. Первый связан с использованием традиционных технологий в образовании. Второй – этап внедрения цифровых технологий в систему образования.

2. Цифровизация вызывает изменение свойств образовательной услуги, технологии образовательного процесса, затрагивает систему экономических отношений и оказывает влияние на механизм государственно-частного партнерства:

– расширяется предмет государственно-частного партнерства. Дополнительно к реализации инфраструктурных проектов (как основному направлению сотрудничества государства и бизнеса в условиях осуществления традиционного образовательного процесса) добавляются развитие цифровой образовательной инфраструктуры и цифрового образовательного контента, которые становятся приоритетными направлениями сотрудничества;

– увеличивается круг субъектов государственно-частного партнерства. Со стороны частного партнера параллельно с национальными субъектами частного бизнеса могут выступать международные компании в сфере образования и транснациональные технологические корпорации;

⁶ Жукова, К. Все «дыры» Zoom: чем рискуют пользователи самого популярного сервиса видеоконференций эпохи карантина [Электронный ресурс] / К. Жукова // Forbes.ru. Режим доступа: <https://www.forbes.ru/tehnologii/398629-vse-dyry-zoom-chem-riskuyut-polzovateli-samogo-populyarnogo-servisa>. Дата доступа: 22.02.2024.

– повышаются возможность и эффективность достижения целей и задач государственно-частного партнерства в сфере образования – увеличение объемов и доступность образовательных услуг;

– изменяется расстановка сил между участниками государственно-частного партнерства. Участие глобальных корпораций как субъектов государственно-частного партнерства вызывает вероятность утраты стратегического контроля над состоянием системы образования и образовательным контентом со стороны государственного сектора;

– увеличиваются объем и масштаб рисков, связанных с реализацией проектов государственно-частного партнерства. Снижение качества, перерасход государственных средств, коммерциализация образования дополняются возникновением риска обеспечения национальной безопасности.

Список литературы

1. Варнавский, В. Г. Место и роль государственно-частного партнерства в системе экономических категорий: попытка системного анализа / В. Г. Варнавский // Государственно-частное партнерство в условиях кризиса: матер. науч.-практ. конф. М.: Ин-т экономики Рос. акад. наук, 2009. С. 30–31.
2. Patrinos, H. A. The Role and Impact of Public-Private Partnerships in Education / H. A. Patrinos, F. Barrera-Osorio, J. Guáqueta. Washington: The World Bank, 2009.
3. Public Private Partnerships in Education: A Report by Education International. September 2009.
4. Williamson, B. Commercialisation and Privatisation in/of Education in the Context of COVID-19 Electronic Resource / B. Williamson, A. Hogan. Belgium, Brussels: Education International, 2020. Mode of access: <https://eprints.qut.edu.au/216577/>. Date of access: 24.12.2023.

References

1. Varnavsky V. G. (2009) The Place and Role of Public-Private Partnership in the System of Economic Categories: An Attempt at Systemic Analysis. *Public-Private Partnership in Crisis Conditions: Materials of a Scientific and Practical Conference*. Moscow, Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences. 30–31 (in Russian).
2. Patrinos H. A., Barrera-Osorio F., Guáqueta J. (2009) *The Role and Impact of Public-Private Partnerships in Education*. Washington, The World Bank.
3. *Public Private Partnerships in Education: A Report by Education International*. September 2009.
4. Williamson B., Hogan A. (2020) *Commercialisation and Privatisation in/of Education in the Context of COVID-19*. Belgium, Brussels, Education International. Available: <https://eprints.qut.edu.au/216577/> (Accessed 24 December 2023).

Сведения об авторе

Полякова И. А., ст. преп. каф. социально-гуманитарных дисциплин и агробизнеса, Витебская орден «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины

Адрес для корреспонденции

210026, Республика Беларусь,
г. Витебск, ул. 1-я Доватора, 7/11
Витебская орден «Знак Почета»
государственная академия ветеринарной медицины
Tel.: +375 29 644-80-77
E-mail: IrinaPoliakova@tut.by
Полякова Ирина Анатольевна

Information about the authors

Paliakova I. A., Senior Lecturer at the Department of Social and Humanitarian Disciplines and Agrobusiness, Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine

Address for correspondence

210026, Republic of Belarus,
Vitebsk, 1st Dovatora St., 7/11
Vitebsk State Academy
of Veterinary Medicine
Tel.: +375 29 644-80-77
E-mail: IrinaPoliakova@tut.by
Paliakova Iryna Anatolievna



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-4-42-49>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 004.89

СТРАТЕГИЯ И ТАКТИКА ВНЕДРЕНИЯ ГЕНЕРАТИВНОГО ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ИНСТРУМЕНТАЛЬНУЮ СИСТЕМУ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ DL.GSU.BY

М. С. ДОЛИНСКИЙ

Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины (г. Гомель, Республика Беларусь)

Поступила в редакцию 06.08.2024

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2024
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2024

Аннотация. В статье рассмотрены стратегия и тактика внедрения генеративного искусственного интеллекта (ГенИИ) в инструментальную систему дистанционного обучения DL.GSU.BY. Стратегия заключается в последовательном выполнении следующих этапов разработки: создание возможностей удобной работы с ГенИИ в системе DL; запуск электронных ГенИИ-учеников для автоматического прохождения учебных курсов в системе DL и сравнительный анализ достижений различных ГенИИ между собой и с реальными студентами; накопление и распространение опыта работы студентов ГенИИ; повышение качества обучения с использованием ГенИИ развитием системы препромптов по задачам и предметам; дальнейшая персонализация обучения за счет реализации продвинутых методик использования ГенИИ (активный ГенИИ, Learning by Teaching). Тактика внедрения ГенИИ последовательно и подробно описывает практические шаги по реализации стратегии.

Ключевые слова: генеративный искусственный интеллект, инструментальная система дистанционного обучения, DL.GSU.BY.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Долинский, М. С. Стратегия и тактика внедрения генеративного искусственного интеллекта в инструментальную систему дистанционного обучения DL.GSU.BY / М. С. Долинский // Цифровая трансформация. 2024. Т. 30, № 4. С. 42–49. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-4-42-49>.

STRATEGY AND TACTICS FOR INTRODUCING GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE INTO THE INSTRUMENTAL DISTANCE LEARNING SYSTEM DL.GSU.BY

MICHAEL S. DOLINSKY

Francisk Skorina Gomel State University (Gomel, Republic of Belarus)

Submitted 06.08.2024

Abstract. This paper provides the strategy and tactics for introducing generative artificial intelligence (GenAI) into the instrumental distance learning system DL.GSU.BY. The strategy consists of sequential implementation of the following stages of development: creating opportunities for convenient work with GenAI in the DL system; launching electronic GenAI students to automatically complete training courses in the DL system and comparative analysis of the achievements of various GenAI among themselves and with real students; accumulation and dissemination of students' experience working with GenAI; improving the quality of training using GenAI by developing a system of preprompts for tasks and subjects; further personalization of training through the implementation

of advanced techniques for using GenAI (active GenAI, Learning by Teaching). GenAI implementation tactics consistently and in details describe practical steps to implement the strategy.

Keywords: generative artificial intelligence, instrumental distance learning system, DL.GSU.BY.

Conflict of interests. The author declares no conflict of interests.

For citation. Dolinsky M. S. (2024) Strategy and Tactics for Introducing Generative Artificial Intelligence into the Instrumental Distance Learning System DL.GSU.BY. *Digital Transformation*. 30 (4), 42–49. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-4-42-49> (in Russian).

Введение

Цель начального обучения программированию в университете – формирование навыков Computational Thinking [1], включающих следующие компоненты: абстракцию, декомпозицию, распознавание паттернов, алгоритмизацию, отладку. Существенное повышение эффективности обучения приносит использование онлайн-платформ для обучения программированию, таких, например, как EduCoder [2, 3], HTProgramming [4], Code4Brownies [5].

Новый этап повышения эффективности начального обучения программированию связан с внедрением генеративного искусственного интеллекта (ГенИИ). Текстовые генеративные системы имеют чат-бот в качестве фронтенда, чтобы взаимодействовать с пользователем, и основываются на LLM-генеративных моделях (Large Language Model – большая языковая модель), которые могут производить новый контент, базируясь на данных, на которых они натренированы. Наиболее известные LLM – GPT (OpenAI), Gemini (Google), LLaMA (Meta), Claude 3 (Anthropic). Взаимодействие пользователя с чат-ботом реализуется запросами. В [6] сформулированы задачи для таких чат-ботов во время процесса начального обучения программированию: объяснение базовых знаний, конструирование кода, объяснение кода, рефакторинг кода, форматирование кода, проверка стиля кодирования, комментирование кода.

Наиболее эффективным представляется встраивание ГенИИ в онлайн-системы обучения и тестирования программ. Такой подход предлагают следующие системы:

TutorBot+ [7, 8] интегрируется в веб-систему обучения и онлайн-платформу тестирования программ, позволяет брать условия задач, получать решения в диалоге с ГенИИ, проверять решения;

KOGI [9] – система поддержки обучения, которая интегрирует ChatGPT и среду Jupyter. Помогает студенту получить совет от ChatGPT в ответ на ошибки и вопросы;

IPSSC [10] (Intelligent programming scaffolding system using ChatGPT) – вместо того, чтобы студент взаимодействовал непосредственно с ChatGPT, авторы [10] разработали три модуля: Solution Assessment (SA) – оценивание решений, Code Assessment (CA) – оценивание кода, Free Interaction (FI) – свободное взаимодействие;

Coding Step [11] – веб-приложение, предназначенное для обучения основам программирования на Python;

Learning Programming with GPT [12] – среда, которая используется студентами в курсе CS1 при изучении Python. Курс интегрирует ChatGPT как средство поддержки студентов и инструкторов в учебном классе;

CodeHelp [13, 14] обеспечивает студентам помощь по требованию, не предлагая непосредственных решений, являясь примером «сократического» наставника, избегающего раскрытия решений непосредственно пользователю;

CodeAid [15] – избегает прямого ответа с кодом, стараясь направлять студента к решению задачи;

NotebookGPT [16] – его разработчики считают, что прямое использование ChatGPT может помешать обучению студента, поэтому NotebookGPT дает доступ к GPT, но не возвращает полных решений, обеспечивая обратную связь на стиль программирования; пояснения, как работают куски кода; помощь с отладкой кода; возможность увидеть альтернативные решения задач;

AI-TA [17] помогает студентам выполнять декомпозицию, т. е. разбиение задач на подзадачи;

Step Tutor [18] обеспечивает рекомендацию следующего шага решения задачи;

TeachYou+AlgoBo [19, 20] предлагает подход LBT (Learning by Teaching – обучение себя обучением кого-то). Здесь TeachYou – LBT-среда для обучения алгоритмам, а AlgoBo – обучающийся чат-бот решению задач.

Инструментальная система дистанционного обучения DL.GSU.BY

С сентября 1999 г. в Гомельском государственном университете имени Франциска Скорины под руководством автора внедрена и развивается инструментальная систем дистанционного обучения DL.GSU.BY (далее – DL) [21]. Автор все это время использует ее для обучения программированию школьников (начиная с первого класса) [22] и студентов первого курса факультета математики и технологий программирования [23], а также для обучения студентов первого и второго курсов основам цифровой электроники в рамках предметов «Машинно-ориентированное программирование», «Архитектура компьютеров» [24].

DL позволяет брать задачи и отсылать на проверку решения этих задач на различных языках программирования, в том числе таких как Pascal, C++, Python, Java, C#. А при изучении основ цифровой электроники программ отсылаются программы на языках ассемблера и С-микропрограммирования, а также схемы цифровых устройств, разработанные в системе высокоуровневого проектирования HLCCAD.

Для поддержки персонализированного обучения студентов с различным уровнем подготовки внедрена система древовидного обучения, в которой студент, не могущий решить задачу, имеет возможность нажать кнопку «Не знаю» и получить дерево подводящих заданий, помогающих ему, в конце концов, решить исходную задачу. Однако, с одной стороны, это статичная, заранее предопределенная система, а, с другой, имеется множество контрольных заданий, для которых нет такой встроенной системы обучения. Внедрение генеративного искусственного интеллекта поможет в обучении решения и этих задач. Кроме того, для курсов, связанных с обучением основам цифровой электроники, вообще нет такого древовидного обучения. Поэтому дальнейшее развитие системы обучающих возможностей системы DL связывается, прежде всего, с ее интеграцией с ГенИИ.

Стратегия внедрения генеративного искусственного интеллекта в инструментальную систему дистанционного обучения DL.GSU.BY

Создание возможностей удобной работы с ГенИИ в системе DL. Основой внедрения ГенИИ в систему DL является чат-бот (#1), который получает запросы студентов, посредством API, предоставляемым ГенИИ, отправляет их ГенИИ и получает ответы, а затем выводит ответы студентам. Наличие такого чат-бота позволяет использовать специальные дообучающие препромпты по задачам, языкам программирования, темам и предметам, в том числе и учитывающие индивидуальные особенности подготовки конкретного студента. Для исследования возможностей ГенИИ от различных фирм они перманентно добавляются к нашему чат-боту, а студенту предоставляется возможность выбора ГенИИ и последующей оценки удовлетворенности результатом работы с ГенИИ оценкой от 0 до 10. Соответственно, по желанию студента ему предоставляется список доступных ГенИИ в алфавитном порядке или в порядке убывания средней оценки ГенИИ студентами. ГенИИ, работа с которыми осуществляется посредством работы с нашим чат-ботом #1, называются встроенными в систему DL. Альтернативно студентам предоставляется возможность работать с теми же ГенИИ напрямую, без использования нашего чат-бота для возможности развития последнего на основе предложений студентов. Такие ГенИИ называются невстроенными.

Запуск электронных учеников в курсах DL. Разрабатывается специальный бот (#2), параметром которого является название сайта ГенИИ. После ручной регистрации на DL этот бот в перманентном режиме выполняет следующую работу:

- переходит на первую доступную несданную задачу;
- берет условие задачи;
- отправляет его ГенИИ с просьбой вернуть решение задачи;
- получает от ГенИИ решение;
- отправляет его на тестирование;
- если решение прошло, переходит к следующей задаче;
- если решение не прошло, берет с сайта DL тест, на котором решение не прошло;
- отправляет тест ГенИИ с просьбой исправить решение;
- получает в ответ исправленное решение;
- отправляет исправленное решение на сайт.

Этот процесс продолжается, пока решение не пройдет или пока не будет достигнуто установленное ограничение на количество отсылок решения одной и той же задачи. Задачи бывают учебные и контрольные. Учебные задачи открыты все время, кроме тех занятий, когда открыты контрольные задачи.

Результаты всех электронных учеников появляются в ведомостях:

– только электронных учеников – для сравнения сайтов ГенИИ между собой по успешности решения задач;

– вместе со студентами – для сравнения результатов электронных учеников с результатами студентов.

Для каждой задачи сохраняются пометки: не решена, решена с какой попытки, каким(и) ГенИИ.

Накопление опыта работы студентов. Иконки вызова нашего чат-бота, поддерживающего работу с встроенными и невстроенными ГенИИ, встраиваются на DL в меню сайта каждого курса (предмета), каждой задачи. По ходу работы студентов с чат-ботом ГенИИ ведется протокол, фиксирующий дату и время работы студента, задачу, оценку студентом качества полученной помощи. Параллельно для встроенных ГенИИ в файловой системе сохраняется весь диалог. Для невстроенных ГенИИ студенту предлагается сохранить диалог в облаке и ввести в специальном поле ссылку на него. DL автоматически скопирует файл диалога в свою файловую систему. Ссылки на каждый такой диалог предоставляются непосредственно на страничке задачи, по которой велся этот диалог. Кроме того, формируются странички со ссылками на все доступные диалоги как по задачам, так и на общие вопросы. Обеспечивается поиск по ключевым словам. Таким образом, происходит накопление опыта работы студентов с ГенИИ. И студент может получить помощь, не обращаясь непосредственно к ГенИИ, если такая помощь уже предоставлялась ранее другому студенту и оказалась эффективной.

Повышение качества обучения развитием препромптов. Специальное направление развития – перманентная разработка и улучшение системы препромптов по задачам, курсам, языкам программирования. Такие препромпты – это дополнительная информация, которая отправляется перед запросом студента для улучшения качества ответа ему. Такие препромпты развиваются прежде всего силами самих студентов. Кроме того, студентам обеспечивается прямой доступ к информации всех препромптов с тем, чтобы они могли использовать их интерактивно при работе с невстроенными ГенИИ.

Персонализация обучения. На текущий момент есть два направления развития персонализации:

1) режим «активный ГенИИ», когда, получив условие задачи, он не выдает сразу решение, а пытается последовательно подвести к решению студента, задавая уточняющие вопросы, помогающие ГенИИ выяснить, чего именно не знает студент и, соответственно, устранить это незнание. При этом ученик под руководством ГенИИ последовательно выполняет для задачи абстракцию, декомпозицию, распознавание паттернов, разработку алгоритма, кодирование и отладку;

2) режим LBT, когда студенту предлагается научиться специально настроенный ГенИИ решению задач заданного типа. Этот же режим может использоваться для исследования и разработки препромптов по задачам, темам и языкам программирования.

Заход с другого конца. В системе DL с 1999 г. накапливаются задачи, их решения студентами и соответствующие записи в протоколе прошло-не прошло, и если не прошло, то на каком тесте. В этих решениях используются языки программирования высокого уровня, ассемблер Intel 8086, язык микропрограммирования С-МПА, схемы цифровых устройств – представленные проектами – в графическом или текстовом виде. Эти данные могут быть использованы для непосредственного обучения LLM.

Тактика внедрения генеративного искусственного интеллекта в инструментальную систему дистанционного обучения DL.GSU.BY

Накопление опыта работы студентов. Вначале иконки вызова ГенИИ встраиваются в меню сайта DL, курса на DL, задачи в курсе на DL. Студентам обеспечивается возможность:

– выбирать ГенИИ для диалога из предъявленного списка (упорядоченные по алфавиту, текущему рейтингу у студентов, по количеству сданных задач с помощью этого ГенИИ);

- пополнять список ИИ новыми URL со стартовыми комментариями (у администратора системы есть возможность редактировать и удалять введенную студентами информацию);
- задавать вопросы по задачам;
- задавать любые вопросы (для получения разъяснений);
- оставлять свои комментарии/оценки работы;
- искать и просматривать диалоги по задачам и ответы на вопросы.

Система автоматически накапливает ссылки на диалоги по задачам, обеспечивая упорядочивание и поиск по номеру задачи. Также накапливаются ссылки на диалоги по общим вопросам с упорядочиванием по алфавиту и поиском по ключевым словам. Диалоги хранятся в виде doc-файлов в специальной папке Dialogs.

Вызов ГенИИ осуществляется переходом по ссылке <http://dl.gsu.by/ai/chat> с передачей в зависимости от уже имеющейся информации любой комбинации следующих параметров:

AI_ID = идентификатор ГенИИ

Course_ID = идентификатор курса (предмета)

Task_ID = идентификатор задачи

Language_ID = идентификатор языка программирования (умолчание берется со странички задачи, также студенту предоставляется возможность выбора другого языка программирования из предлагаемого списка).

Для поддержки работы чат-бота из базы данных (БД) системы DL копируется информация о курсах, языках программирования и пользователях:

Courses <Номер> <Название>

Languages <Номер> <Название>

Users <Номер> – <(Персональная информация, как в DL)>.

Кроме того, создаются специальные таблицы БД:

AI_ID <Номер> <URL> <(Признак встроенный/невстроенный)> <Название>

Themes <Номер> <Тема запроса к ID> (для последующего поиска и/или выдаче в списке тем по алфавиту/востребованности)

References <Номер> <Имя файла в папке Dialogues>

AI_LOG <Дата> <Время> <AI_ID> <Refs_ID (ссылка на диалог)> <(0–5) (оценка пользователя)> [User_ID] [Course_ID] [Task_ID] [Theme_ID].

В процессе работы в БД ведется протокол работы с сайтами в формате

<Дата> <Время> <AI_ID> <Refs_ID (ссылка на диалог)> <(0–5) (оценка пользователя)> [User_ID] [Course_ID] [Task_ID] [Theme_ID].

[] означают, что этой информации может и не быть.

Все диалоги сохраняются в файловой системе в папке Dialogues, в подпапках <Task_ID> <Language_ID>. Имена файлов диалогов имеют следующий вид:

<UserID> <AI_ID> <Дата> <Время> <Оценка пользователя>.doc

При работе со встроенными ГенИИ эти файлы создаются системой автоматически. При работе с нестроенными ГенИИ студенту предлагается вручную создать в облаке doc-файл диалога, а затем ввести ссылку на этот файл, выбрать метаданные диалога (Task_ID, Language_ID) или ввести тему диалога. В случае, если идет запрос от студента по задаче с ранее сохраненными диалогами, ему вначале выдается их список для просмотра (вместе с оценкой пользователя в порядке убывания оценок) в качестве альтернативы собственному диалогу. Кроме того, поддерживается выдача списка сохраненных диалогов по задаче / теме / языку и поиск по этому списку.

Повышение качества обучения развитием препромптов. В файловой системе создается папка Preprompts с файлами Course_ID.txt, Task_ID.txt, Language_ID.txt. При работе со встроенным ГенИИ подходящие препромпты автоматически посылаются ГенИИ, предваряя запросы студентов. При работе с нестроенными ГенИИ студенты имеют доступ ко всем препромптам для ручной отсылки препромптов.

Имеются средства редактирования файлов препромптов, развития и накопления файлов препромптов по задачам, языкам, курсам силами студентов. Для того чтобы обеспечить доступ чат-боту к условиям задач, с DL чат-боту копируются папки, их содержащие:

Tasks – html – условия задач

Images\original – pdf и doc – условия задач.

Сделать и пополнять папку

Tasks-ext – txt – условия задач
пополнять txt – условия задач, извлекая из pdf и doc, если не нашли в Tasks
и tasks-ext.

Автоматически включать условие задачи в запрос студента по задаче. Также автоматически вставляются препромпты в зависимости от типа задач (язык, курс).

Запуск электронных учеников в курсах DL. Цель – поддержка непрерывной работы ГенИИ на DL: решение задач обучения, контрольных работ, контрольных срезов, командных олимпиад, возможно, с ограничением на количество попыток, с последующим сравнением результатов ГенИИ между собой и с результатами студентов. Для обеспечения принципа «не навреди» работе системы DL чат-боту копируются тесты к задачам (папка Archives) и база данных DL. Вначале будет регламентное копирование информации (например, раз в сутки ночью), а в перспективе – инкрементальное (т. е. по мере изменения информации).

Далее необходимо разработать DL API:

- войти под аккаунтом;
- перейти в курс;
- получить список задач к решению (при обучении, контроле, по вариантам);
- получить условие задачи;
- отослать решение на задачу;
- узнать вердикт по отосланному решению;
- взять первый непройденный тест к решению;
- пропустить задачу.

Электронные ученики запускаются универсальным ботом #2, получающим в качестве параметра AI_ID.

Ручная работа. Эта работа выполняется, пока она не автоматизирована, с целью накопления соответствующего опыта:

- создать-пополнять список сайтов ИИ, на которых можно спрашивать решения задач;
- зарегистрировать ИИ-сайты на DL (типа AI URL вместо фамилии и имени);
- сравнение эффективности разных ГенИИ (ручной отсылкой решений на одни и те же задачи);
- накопление диалогов и ссылок на них – по решению задач;
- накопление препромптов по задачам, языкам, курсам;
- накопление задач и ГенИИ, наиболее подходящих для LBT;
- решение с помощью этих сайтов (каждую задачу на каждом сайте);
- отписываться на форуме о своих впечатлениях;
- выкладывать ссылку на задачу на DL, URL ИИ-сайта, ссылку на весь диалог с ИИ-сайтом;
- накапливать файл-помощник для препромптов перед отсылкой условия задачи;
- систематически работать над препромптами для наиболее проблемных задач у студентов/электронных студентов;
- обучать ИИ-сайты «последовательному обучению студентов решению задач» – по отдельным типам.

Заключение

Приведены стратегия и тактика внедрения генеративного искусственного интеллекта (ГенИИ) в инструментальную систему дистанционного обучения DL.GSU.BY. В результате предполагаются: создание возможностей удобной работы с ГенИИ в системе DL; запуск электронных ГенИИ-учеников для автоматического прохождения учебных курсов в системе DL и сравнительный анализ достижений различных ГенИИ между собой и с реальными студентами; накопление и распространение опыта работы студентов с ГенИИ; повышение качества обучения с использованием ГенИИ развитием системы препромптов по задачам и предметам; дальнейшая персонализация обучения за счет реализации продвинутых методик использования ГенИИ (активный ГенИИ, Learning by Teaching).

Список литературы / References

1. Kaleem M., Hassan M. A., Khurshid S. K. (2024) A Machine Learning-Based Adaptive Feedback System to Enhance Programming Skill Using Computational Thinking. *IEEE Access*. 12. <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=10506466>.
2. Sun Zhang, Jianhao Yang, Xiaoshuang Sang (2023) Exploring the Applications of EduCoder Platform in Blended Teaching for Computer Major. *Journal of Education and Educational Research*. 4 (2). <https://drpress.org/ojs/index.php/jeer/article/view/10819/10528>.
3. Zihao Li, Sun Zhang, Xiaoshuang Sang (2023) Exploration of Machine Learning Teaching Based on the EduCoder Platform. *Journal of Education and Educational Research*. 4 (3). <https://drpress.org/ojs/index.php/jeer/article/download/11387/11088>.
4. Figueiredo J., García-Peñalvo F. J. (2021) Teaching and Learning Tools for Introductory Programming in University Courses. *Proceedings of the 2021 International Symposium on Computers in Education (SIIE), 23–24 Sept. 2021, Málaga, Spain*. <https://doi.org/10.1109/SIIE53363.2021.9583623>.
5. Phan V., Hicks E. (2018) Code4Brownies: An Active Learning Solution for Teaching Programming and Problem Solving in the Classroom. *Proceedings of the 23rd Annual ACM Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education*. 153–158. <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3197091.3197128>.
6. Herden O. (2024) Integration of Chatbots for Generating Code into Introductory Programming Courses. *International Conference “Future of Education”*. <https://conference.pixel-online.net/files/foe/ed0014/FP/9091-ICT6673-FP-FOE14.pdf>.
7. Martínez-Araneda C., Gutiérrez M., Maldonado D., Gómez P., Segura A., Vidal-Castro C. (2024) Designing a Chabot to Support Problem-Solving in a Programming Course. *INTED2024 Proceedings*. 966–975. <https://library.iated.org/view/MARTINEZARANEDA2024DES>.
8. Martínez-Araneda C., Gutiérrez Valenzuela M., Gómez Meneses P., Maldonado Montiel D., Segura Navarrete A., Vidal-Castro C. (2023) How Useful TutorBot+ is for Teaching and Learning in Programming Courses: A Preliminary Study. *42nd IEEE International Conference of the Chilean Computer Science Society (SCCC), Concepcion, Chile*. 1–7. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10315697>.
9. Kimio Kuramitsu, Yui Obara, Miyu Sato, Momoka Obara (2023) KOGI: A Seamless Integration of ChatGPT into Jupyter Environments for Programming Education. *In Proceedings of the 2023 ACM SIGPLAN International Symposium on SPLASH-E (SPLASH-E 2023)*. 50–59. <https://doi.org/10.1145/3622780.3623648>.
10. Jian Liao, Linrong Zhong, Longting Zhe, Handan Xu, Ming Liu, Tao Xie (2024) Scaffolding Computational Thinking With ChatGPT. *IEEE Transactions on Learning Technologies*. 17. <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=10508087>.
11. Sarshartehrani F., Mohammadrezaei E., Behravan M., Gracanin D. (2024) Enhancing E-Learning Experience Through Embodied AI Tutors in Immersive Virtual Environments: A Multifaceted Approach for Personalized Educational Adaptation. *Adaptive Instructional Systems. HCII 2024. Lecture Notes in Computer Science*. 14727. https://doi.org/10.1007/978-3-031-60609-0_20.
12. Mohammad Abolnejadian, Sharareh Alipour, Kamyar Taeb (2024) Leveraging ChatGPT for Adaptive Learning Through Personalized Prompt-Based Instruction: A CS1 Education Case Study. *Extended Abstracts of the 2024 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '24)*. 521, 1–8. <https://doi.org/10.1145/3613905.3637148>.
13. Mark Liffiton, Brad Sheese, Jaromir Savelka, Paul Denny (2023) *CodeHelp: Using Large Language Models with Guardrails for Scalable Support in Programming Classes*. <https://arxiv.org/pdf/2308.06921>.
14. Paul Denny, Stephen MacNeil, Jaromir Savelka, Leo Porter, Andrew Luxton-Reilly (2024). Desirable Characteristics for AI Teaching Assistants in Programming Education. *arXiv*. <https://arxiv.org/pdf/2405.14178v1>.
15. Majeed Kazemitabaar, Runlong Ye, Xiaoning Wang, Austin Z. Henley, Paul Denny, Michelle Craig, et al. (2024) CodeAid: Evaluating a Classroom Deployment of an LLM-based Programming Assistant that Balances Student and Educator Needs. *arXiv*. <https://arxiv.org/pdf/2401.11314>.
16. Samuel D. George, Prasun Dewan (2024) NotebookGPT – Facilitating and Monitoring Explicit Lightweight Student GPT Help Requests During Programming Exercises. *Companion Proceedings of the 29th International Conference on Intelligent User Interfaces*. 62–65. <https://doi.org/10.1145/3640544.3645234>.
17. Changyoon Lee, Junho Myung, Jieun Han, Jiho Jin, Alice Oh (2023) Learning from Teaching Assistants to Program with Subgoals: Exploring the Potential for AI Teaching Assistants. *arXiv*. <https://arxiv.org/pdf/2309.10419>.
18. Lianne Roest, Hieke Keuning, Johan Jeuring (2024) Next-Step Hint Generation for Introductory Programming Using Large Language Models. *Proceedings of the 26th Australasian Computing Education Conference*. <https://doi.org/10.1145/3636243.3636259>.

19. Hyoungwook Jin, Seonghee Lee, Hyungyu Shin, Juho Kim (2023) Teach AI How to Code: Using Large Language Models as Teachable Agents for Programming Education. *arXiv*. <https://arxiv.org/pdf/2309.14534>.
20. Hyoungwook Jin, Seonghee Lee, Hyungyu Shin, Juho Kim (2023) Teach AI How to Code: Using Large Language Models as Teachable Agents for Programming Education. *arXiv*. <https://arxiv.org/pdf/2309.14534v2>.
21. Dolinsky M. S. (2022a) Instrumental System of Distance Learning DL.GSU.BY and Examples of Its Application. *Global Journal of Computer Science and Technology: G Interdisciplinary*. 22 (1), 44–53 <http://elib.gsu.by/jspui/handle/123456789/54044>.
22. Dolinsky (2016) Gomel Training School for Olympiads in Informatics. *Olympiads in Informatics*. 10, 237–247. DOI: 10.15388/ioi.2016.16.
23. Dolinsky M. S. (2022b) Teaching Algorithms and Programming First Year University Students on Base of Distance Learning System DL.GSU.BY. *WSEAS Transactions on Advances in Engineering Education*. 19, 52–57. <https://wseas.com/journals/articles.php?id=5611>.
24. Dolinsky M. S. (2022c) Experience of Blended Learning the Fundamentals of Digital Electronics for First/Second Year University Students On Base of Distance Learning System DL.GSU.BY. *International Journal of Education and Learning Systems*. 7, 59–64. <https://www.iaras.org/iaras/home/caijels/experience-of-blended-learning-the-fundamentals-of-digital-electronics-for-first-second-year-university-students-on-base-of-distance-learning-system-dl-gsu-by>.

Сведения об авторе

Долинский М. С., канд. техн. наук, доц. кафедры математических проблем управления и информатики, Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины

Адрес для корреспонденции

246023, Республика Беларусь,
г. Гомель, ул. Советская, 104
Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины
Тел.: +375 44 733-21-84
E-mail: dolinsky@gsu.by
Долинский Михаил Семенович

Information about the author

Dolinsky M. S., Cand. of Sci., Associate Professor at the Department of Mathematical Problems of Control and Informatics, Francisk Skorina Gomel State University

Address for correspondence

246023, Republic of Belarus,
Gomel, Sovetskaya St., 104
Francisk Skorina
Gomel State University
Tel.: +375 44 733-21-84
E-mail: dolinsky@gsu.by
Dolinsky Michael Semyonovich



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-4-50-61>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 550.388.2

ОБЛИК ПЕРСПЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ НИЗКООРБИТАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ИОНОСФЕРЫ НАД ТЕРРИТОРИЕЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ И ПРИЛЕГАЮЩИМИ РЕГИОНАМИ

Е. А. КАПЛЯРЧУК¹, С. В. КОЗЛОВ¹, А. М. КРОТ², И. Э. САВИНЫХ², А. С. ШАПКИН²

¹Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(г. Минск, Республика Беларусь)

²Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси
(г. Минск, Республика Беларусь)

Поступила в редакцию 31.05.2024

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2024
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2024

Аннотация. Обоснованы состав и характеристики системы низкоорбитального контроля ионосферы над территорией Республики Беларусь и прилегающими регионами земного шара. Данная система построена на базе спутников-ретрансляторов сигналов глобальной навигационной спутниковой системы GPS на выделенные для геофизических исследований частоты 150/400 МГц, модернизированной аппаратуры приемных пунктов национальной спутниковой системы точного позиционирования, телекоммуникационных каналов общего пользования и группы серверов обработки принятых сигналов и оценивания полного электронного содержания в ионосфере. Система низкоорбитального контроля ионосферы предназначена для выдачи данных по полному электронному содержанию на трассах спутник-ретранслятор – приемный пункт спутниковой системы точного позиционирования при восстановлении электронного содержания в ионосфере методами радиотомографии. Разработаны рекомендации по орбитальным параметрам спутников-ретрансляторов, требования к бортовому ретранслятору, антенной системе и дополнительному приемному каналу аппаратуры приемных пунктов спутниковой системы точного позиционирования, определены объем циркулирующей в системе информации и требования к серверам обработки. Разработан цифровой двойник системы низкоорбитального контроля ионосферы. Показано, что предлагаемая система низкоорбитального контроля при пролете спутников-ретрансляторов по орбите над территорией Беларуси и прилегающими регионами за время 10–15 мин обеспечивает увеличение объема данных для решения радиотомографической задачи в сравнении с существующим высокоорбитальным методом на 5400 измерений с расстояниями по точкам «прокола» ионосферы порядка единиц километров в азимутальном секторе относительно условного центра системы 120°–150°.

Ключевые слова: ионосфера, полное электронное содержание, спутник-ретранслятор, навигационный сигнал, цифровое диаграммообразование, сервер, спутниковая система точного позиционирования.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарность. Работа выполнена при частичной финансовой поддержке по опытно-конструкторской работе по договору № 220/12 «Разработать алгоритмические и программные средства обработки радиотомографических данных низкоорбитального контроля ионосферы» (2022–2025) в рамках мероприятия подпрограммы 6 «Исследование и использование космического пространства в мирных целях» Государственной программы «Научно-технологические и технические» на 2021–2025 гг. и научно-исследовательской работе по договору № 9СГЗ.3-220 «Разработать аппаратно-программный и алгоритмический комплекс радиометрического анализа динамических состояний ионосферы» (2023–2026) в рамках научно-технической программы Союзного государства «Комплекс-СГ».

Для цитирования. Облик перспективной системы низкоорбитального контроля ионосферы над территорией Республики Беларусь и прилегающими регионами / Е. А. Каплярчук [и др.] // Цифровая трансформация. 2024. Т. 30, № 4. С. 50–61. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-4-50-61>.

APPEARANCE OF A PROMISING SYSTEM FOR LOW-ORBIT CONTROL OF THE IONOSPHERE OVER THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF BELARUS AND ADJACENT REGIONS

YAUHENI A. KAPLARCHUK¹, SERGEY V. KOZLOV¹, ALEXANDER M. KROT²,
IRINA E. SAVINYKH², ALIAKSANDR S. SHAPKIN²

¹Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk, Republic of Belarus)

²United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus
(Minsk, Republic of Belarus)

Submitted 31.05.2024

Abstract. The article substantiates the composition and characteristics of the low-orbit ionosphere monitoring system over the territory of the Republic of Belarus and adjacent regions of the globe. This system is based on satellites-repeaters of signals of the global navigation satellite system GPS on the frequencies of 150/400 MHz allocated for geophysical research, modernized equipment of receiving points of the national satellite system of precise positioning, public telecommunication channels and a group of servers for processing received signals and estimating the total electron content in the ionosphere. The low-orbit ionosphere monitoring system is designed to provide data on the total electron content on the routes repeater satellite – receiving point of the satellite system of precise positioning when restoring the electron content in the ionosphere using radio tomography methods. Recommendations have been developed on the orbital parameters of the repeater satellites, requirements for the on-board repeater, antenna system and additional receiving channel of the equipment of receiving points of the satellite system of precise positioning, the volume of information circulating in the system and the requirements for the processing servers are determined. A digital twin of the low-orbit ionosphere monitoring system has been developed. It has been shown that the proposed low-orbit monitoring system, when relay satellites fly in orbit over the territory of Belarus and adjacent regions for 10–15 minutes, provides an increase in the volume of data for solving the radiotomographic problem in comparison with the existing high-orbit method of 5400 measurements with distances at the ionosphere “puncture” points of the order of several kilometers in the azimuthal sector relative to the conventional center of the system 120°–150°.

Keywords: ionosphere, total electron content, repeater satellite, navigation signal, digital charting, server, satellite precision positioning system.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

Gratitude. This work was partially sponsored by the Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research under project No F20R-329 “Theoretical Foundations for the Study of Wave Processes and Phenomena in the Ionosphere Using Signals from Satellite Radio Navigation Systems”, under research and development work under contract No 220/12 “Develop algorithmic and software tools for processing radio tomographic data from low-orbit ionosphere monitoring” (2022–2025) within the framework of subprogram 6 “Exploration and Use of Outer Space for Peaceful Purposes” of the State Program “Science-Intensive Technologies and Technology” for 2021–2025 and research work under contract No 9SG3.3-220 “Develop a hardware, software and algorithmic complex for radiometric analysis of the dynamic states of the ionosphere” (2023–2026) within the framework of the scientific and technical program of the Union State “Complex-SG”.

For citation. Kaplarchuk Ya. A., Kozlov S. V., Krot A. M., Savinykh I. E., Shapkin A. S. (2024) Appearance of a Promising System of Low-Orbit Control of the Ionosphere over the Territory of the Republic of Belarus and Adjacent Regions. *Digital Transformation*. 30 (4), 50–61. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-4-50-61> (in Russian).

Введение

Разработка способов контроля состояния ионосферы методами радиочастотного зондирования – актуальная задача [1–8]. В последнее время возрастает интерес к методам получения абсолютных измерений полного электронного содержания (ПЭС) в отдельном регионе и близком к реальному масштабу времени. Это связано с требованием независимости работы систем обнаружения опасных природных явлений и обеспечения средств радиосвязи и радионавигации от глобальных ионосферных карт, большая часть которых выходит с запаздыванием в несколько дней [3, 7, 9, 10].

В [11] приведено обоснование различных вариантов перспективного способа оценивания ПЭС в ионосфере на основе ретрансляции сигналов глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) GPS на выделенные для геофизических исследований частоты 150/400 МГц со спутника-ретранслятора в микро- или наноформатах. Наиболее простым является вариант,

предполагающий ретрансляцию сигналов GPS на частоте $L_1 = 1575,42$ МГц, что позволяет оценивать ПЭС на трассе спутник-ретранслятор (СР) – наземный приемный пункт (ПП) с точностью не хуже 0,1 ТЕСу по разности задержек огибающих когерентных ретранслированных сигналов без необходимости устранения фазовой неоднозначности, характерной для случая излучения с малого космического аппарата немодулированных гармонических сигналов [5, 6]. В [12] приведены алгоритмы цифровой обработки ретранслированных сигналов и оценивания ПЭС.

Для практической реализации предложенного (либо аналогичных) способа необходимо создание в Республике Беларусь системы низкоорбитального контроля ионосферы (НКИ). Обоснование состава и структуры такой системы рассмотрено в статье.

Состав и структура перспективной системы низкоорбитального контроля ионосферы

Система НКИ над территорией Беларуси и прилегающими регионами земного шара предназначена для:

- приема ретранслированных на частоты 150/400 МГц навигационных сигналов ГНСС GPS наземными приемными пунктами спутниковой системы точного позиционирования (ССТП) Республики Беларусь [13] с дополнительными каналами приема;
- передачи принятых сигналов на сервер обработки и измерения ПЭС на трассах распространения между СР и ПП ССТП;
- архивации, хранения и выдачи по соответствующим запросам данных об измеренных значениях ПЭС внешним потребителям;
- контроля состояния и измерения орбитальных параметров группировки СР и организации управления ими.

Структура системы НКИ совместно с внешними связями приведена на рис. 1 (ЦОИиУ – центр обработки информации и управления; АРМ – автоматизированное рабочее место; БД – база данных; НС – навигационный спутник).

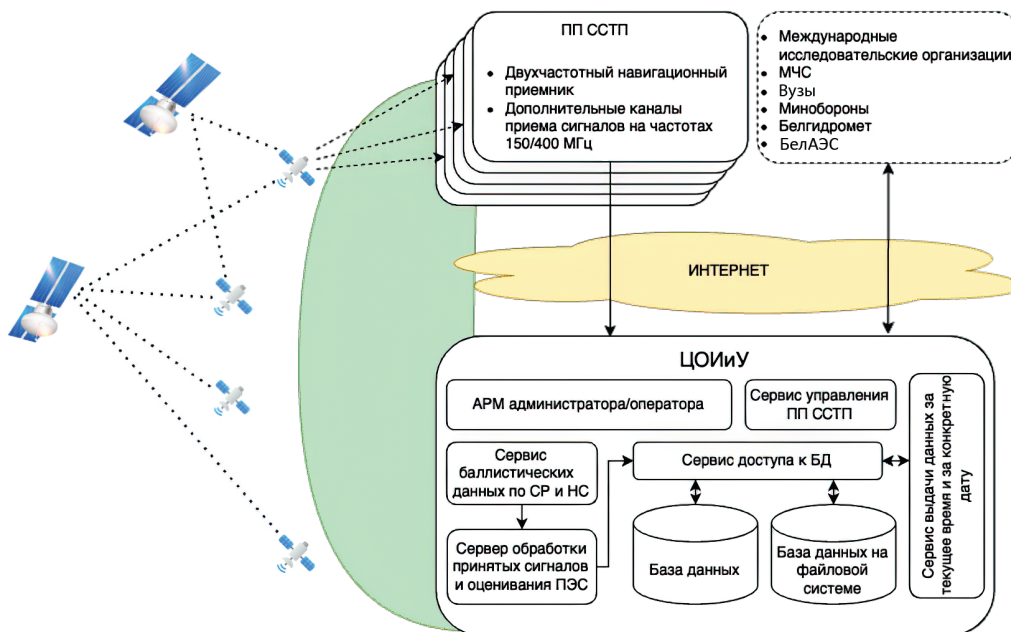


Рис. 1. Структура системы низкоорбитального контроля ионосферы

Fig. 1. Structure of the low-orbit ionospheric monitoring system

В состав системы входят:

- группировка из 4–48 низкоорбитальных СР (малых космических аппаратов) с бортовой аппаратурой ретрансляции сигналов ГНСС GPS на частоты 150/400 МГц;
- сеть наземных ПП ССТП с дополнительными каналами приема ретранслированных сигналов 150/400 МГц, их преобразования в цифровую форму и передачи на ЦОИиУ;
- ЦОИиУ в составе сервера обработки принятых сигналов и оценивания ПЭС, сервера архивации результатов измерений и файлового сервера для выдачи данных потребителям, пунктов;
- общедоступные телекоммуникационные каналы передачи данных сети Белтелеком.

Основой для системы НКИ являются ПП ССТП, дополненные каналами приема ретранслированных сигналов. В настоящее время общее число ПП ССТП составляет 99, их география (треугольники) приведена на рис. 2 (<https://map.nca.by/layers>).

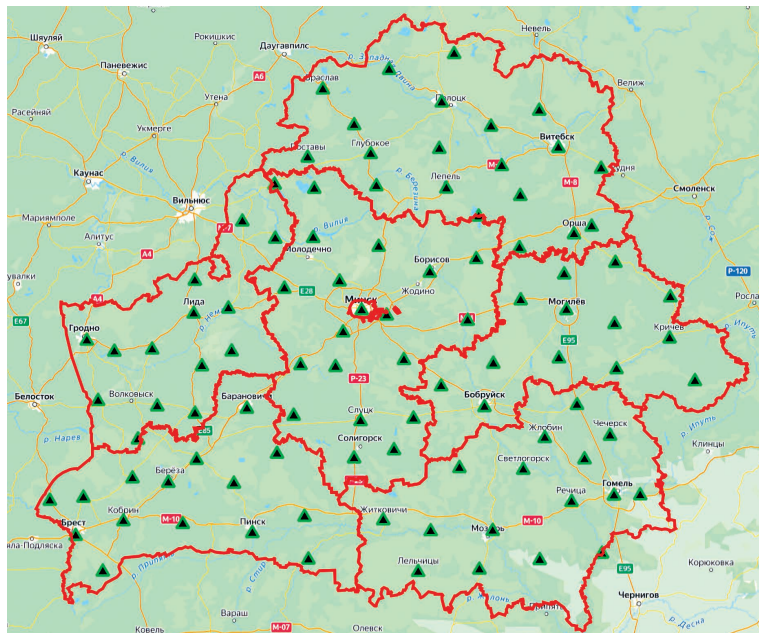


Рис. 2. Размещение приемных пунктов спутниковой системы точного позиционирования
Fig. 2. Placement of receiving stations of the satellite precision positioning system

Оснащение всех ПП ССТП дополнительными каналами приема является, очевидно, избыточным. Исходя из необходимости обнаружения локальных флуктуаций электронной концентрации в ионосфере диаметром 30–50 км, расстояние между ПП ССТП с дополнительными каналами приема с учетом характерной высоты максимума электронной концентрации в ионосфере 300 км и высоты орбиты СР 500–1000 км может быть принято 50–70 км. С учетом экономических ограничений на первом этапе создания системы НКИ общее число ПП ССТП, оснащенных дополнительным каналом приема, может составить 16–20, т. е. примерно 1/5 от имеющихся в составе ССТП.

Функционирование системы НКИ при проведении измерений ПЭС осуществляется следующим образом:

- ЦОИиУ на основе накопленных на предыдущих этапах функционирования данных об орбитальных параметрах СР прогнозирует моменты входа СР в зону прямой видимости с ПП ССТП, по каналам связи выдает команду на включение дополнительных каналов приема сигналов 150/400 МГц и задает интервал времени включения;

- дополнительные каналы приема осуществляют прием сигналов в заданный временной интервал и с заданных азимута/угла места, перевод принимаемых сигналов в цифровую форму с формированием формализованных файлов отсчетов сигналов и передают их на ЦОИиУ;

- ЦОИиУ осуществляют обработку принятых файлов отсчетов сигналов, в ходе которой решаются задачи по обнаружению сигналов от каждого видимого НС GPS в составе ретранслированных сигналов, измерению разности времен задержки по каждому НС, оцениванию и усреднению ПЭС на трассе СР – ПП по всем видимым НС;

- результаты оценивания в составе момента времени получения ПЭС, номера ПП ССТП, координат СР и непосредственно оценки ПЭС на трассе СР – ПП ССТП поступают на архивацию;

- дополнительно ЦОИиУ в каждом измерении по каждому НС оценивает суммарную дальность НС – СР – ПП ССТП с учетом компенсации ионосферной ошибки;

- по результатам измерений суммарной дальности по видимым навигационным спутникам решается задача разовой оценки местоположения СР;

- по совокупности разовых оценок координат СР на интервале наблюдения решается задача оценивания (уточнения) орбитальных параметров СР; результаты оценивания используются для прогнозирования последующего момента наблюдения СР с ПП ССТП.

Функционирование ЦОИиУ системы НКИ при выдаче информации потребителям заключается в приеме формализованного запроса, содержащего начальный и конечный моменты времени

выдачи данных о ПЭС, поиска соответствующей информации в БД и формировании выходного файла с результатами.

Рекомендации по орбитальным параметрам спутников-ретрансляторов

При выборе числа и орбитальных параметров СР учитывается, что при увеличении высоты орбиты происходит увеличение зоны видимости СР с ПП ССТП, угловых размеров зоны измерения ПЭС и числа видимых с ПП ССТП проходов СР в сутки, но при этом уменьшаются отношение сигнал/шум и точность измерения ПЭС. Для обоснования требований к орбитальным параметрам и числу СР на орбитах удобно использовать показатель «пространственная доступность», под которым понимается вероятность приема сигнала от СР хотя бы одной приемной станцией ССТП в произвольный момент времени.

Пространственная доступность ограничена как выпуклостью (кривизной) Земли с учетом минимального угла маски (угла между местным горизонтом и направлением на спутник, который обычно принимается 5°), так и параметрами антенн СР. Для оценки пространственной доступности используется следующее выражение:

$$w_{\text{пд}} = \frac{2\pi R_e^2 (1 - \cos \psi)}{4\pi R_e^2} = \frac{1 - \cos \psi}{2}, \quad (1)$$

где R_e – радиус Земли; ψ – половина центрального угла, ограничивающего зону видимости СР (рис. 3).

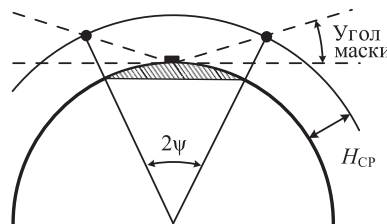


Рис. 3. К определению пространственной доступности
Fig. 3. Toward the definition of spatial accessibility

В формуле (1) до сокращения числитель $2\pi R_e^2 (1 - \cos \psi)$ представляет собой площадь сегментной поверхности сферического сегмента высотой $H = R_e - R_e \cos \psi = R_e (1 - \cos \psi)$, на которую попадает подспутниковая точка при нахождении СР в пределах прямой видимости с центральной станцией ССТП, знаменатель $4\pi R_e^2$ – общую площадь поверхности Земли.

Значения пространственной доступности СР и другие числовые данные для угла маски 5° приведены в табл. 1, из которых следует, что для повышения пространственной доступности необходимо увеличивать высоту орбиты и ширину главного лепестка диаграммы направленности антенны 150/400 МГц при условии, что максимум главного лепестка ориентирован в надир. Практическая реализация антенн с шириной главного лепестка 120° – 130° затруднительна, что определяет необходимость изменения угловой ориентации СР при прохождении им участка орбиты в зоне видимости ПП ССТП.

Таблица 1. Пространственная доступность спутника ретранслятора
Table 1. Spatial accessibility of the relay satellite

Высота орбиты, км	Половина центрального угла ψ , град.	Максимальная дальность, км	Максимальный угол между направлением в надир и на ПП, град.	Пространственная доступность	
				без учета ширины главного лепестка антенны ретранслятора	при ширине главного лепестка антенны ретранслятора 90°
500	$17,3^\circ$	2076	$67,0^\circ$	0,0232	0,0017
800	$22,7^\circ$	2782	$62,7^\circ$	0,0389	0,0046
1000	$25,4^\circ$	2841	$59,4^\circ$	0,0483	0,0074
1200	$28,0^\circ$	3117	$57,0^\circ$	0,0587	0,0112

Ориентировочное число СР при примерно равномерном распределении их орбит по долготе восходящего узла, необходимое для достижения близкой к единице вероятности наблюдения хотя бы одного СР, составит 25–20 для высот орбит 800–1000 км.

Для высоты орбиты 1000 км и нахождении СР на максимальной дальности «точки прокола» ионосферы при типовой высоте слоя с максимальной концентрацией электронов 300 км будут расположены на удалении по поверхности Земли примерно 800–850 км с характерными локациями по окружности против часовой стрелки: Братислава, Запорожье, Владимир, Хельсинки. С учетом указанной максимальной дальности максимальная северная широта спутника может составлять 78°–80°, что определяет рациональные значения угла наклона плоскости орбиты 90°–102°.

Характеристики бортового ретранслятора

Требуемые параметры бортового ретранслятора определяются необходимостью достижения заданного отношения сигнал/шум с учетом конструктивных ограничений по размещению приемных и передающих антенн. Уточненные в сравнении с [11] характеристики бортового ретранслятора приведены в табл. 2.

Таблица 2. Требуемые характеристики бортового ретранслятора
Table 2. Required characteristics of an onboard repeater

Наименование характеристики	Значение характеристики
Выходная мощность в линейном режиме по 3 дБ компрессии, дБм	23 ± 1
Коэффициент усиления тракта ретрансляции K_p по мощности, дБ	127 ± 1
Коэффициент шума $k_{ш}$ входного малошумящего усилителя, дБ	1–2
Диапазон рабочих частот, МГц	1575,42 ± 1 – по входу; 150 ± 1 и 400 ± 1 – по выходу
Приемная антенна сигнала L_1 GPS	Микрополосковая антенна диаметром 70–80 мм с коэффициентом усиления в зените 4,0–4,5 дБ
Передающие антенны каналов 150/400 МГц	Четвертьволновый штыврь (в транспортном состоянии – свернутый), вибраторная антенна (для 400 МГц) или микрополосковая антенна с коэффициентом усиления в секторе ±60° относительно максимума не менее 1 дБ

Характеристики дополнительных приемных каналов приемной станции спутниковой системы точного позиционирования

Дополнительные приемные каналы ПП ССТП должны обеспечить прием сигналов на частотах 150/400 МГц с произвольной эллиптической поляризацией в секторе 360° по азимуту и 5°–90° по углу места на двух ортогональных поляризациях и преобразование принятых сигналов в цифровую форму с последующей передачей принятых сигналов на ЦОИиУ. Направление приема полезного сигнала является известным с высокой точностью, а его поляризационные характеристики – случайные из-за фарадеевского вращения плоскости поляризации в ионосфере [14].

Анализ возможных вариантов построения дополнительных приемных каналов показывает, что наиболее экономное из них – использование антенной системы в виде шестиэлементной кольцевой антенной решетки (КАР) из горизонтально и вертикально ориентированных антенных элементов (АЭ) – полуволновых вибраторов. Геометрия КАР на частоту 150 МГц приведена на рис. 4, *b*, где выколотыми кружками показаны вертикальные вибраторы. Геометрия КАР на частоту 400 МГц аналогична при пропорционально меньших размерах, причем КАР на частоту 400 МГц «встраивается» в КАР на частоту 150 МГц с разнесом по высотам фазовых центров порядка 1 м для исключения взаимного влияния АЭ. Такие КАР требуют фокусировки в направлении на СР с учетом поляризации полезного сигнала. Выполнение этих операций непосредственно в дополнительной аппаратуре ПП ССТП сопряжено с существенными аппаратурными затратами. Поэтому для системы НКИ предлагается вариант передачи цифровых сигналов, принятых всеми 12-ю приемными каналами на каждой из частот, на ЦОИиУ с реализацией цифрового диаграммообразования и поляризационной адаптации в программном виде на ЦОИиУ.

Требуемые характеристики дополнительных приемных каналов приемной станции ССТП приведены в табл. 3.

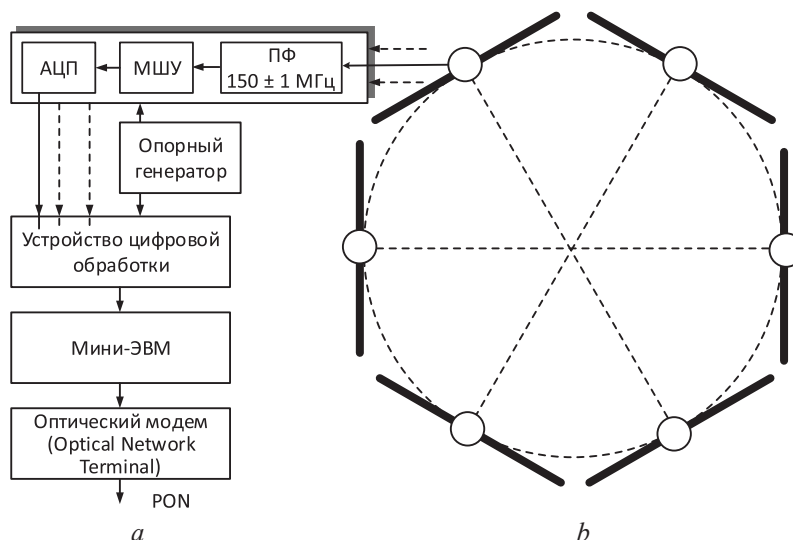


Рис. 4. Структура дополнительной аппаратуры приемных пунктов спутниковой системы точного позиционирования (а) и вид сверху (b)
Fig. 4. The structure of additional equipment of the receiving points of the satellite precision positioning system (a) and top view (b)

Таблица 3. Требуемые характеристики дополнительных приемных каналов приемной станции
Table 3. Required characteristics of additional receiving channels of the receiving station

Наименование характеристики	Значение характеристики
Число приемных каналов для вертикальной/горизонтальной поляризации	6/6 – для частот 150 и 400 МГц
Радиус кольцевой антенной решетки	1,000 м – для 150 МГц; 0,375 м – для 400 МГц
Коэффициент шума входного малошумящего усилителя, дБ	1–2
Диапазон рабочих частот, МГц	150 ± 1; 400 ± 1
Частота дискретизации, МГц	1,5
Число разрядов аналого-цифрового преобразователя (АЦП) (со знаковым) для каждой квадратурной составляющей	4

Структура одного приемного канала показана на рис. 4, а. Для частоты 150 МГц он содержит входной полосно-пропускающий фильтр (150 ± 2) МГц, малошумящий усилитель (МШУ), бесквадратурный АЦП с частотой дискретизации десятки мегагерц с преобразованием сигналов в соответствующей зоне Найквиста и устройства цифровой обработки. Устройство цифровой обработки выполняет функции преобразования действительного цифрового сигнала в квадратурный с одновременной фильтрацией в пределах квадратурных составляющих в полосе порядка 0,5 МГц, децимации, усечения разрядности и упаковки отсчетов квадратурных составляющих сигнала в один байт. Сформированный цифровой поток по Ethernet поступает на управляющую мини-ЭВМ для буферизации и передачи по каналам связи на ЦОИиУ.

Оценим требуемую пропускную способность каналов связи между приемной станцией ССТП и ЦОИиУ и требуемый объем памяти для хранения цифровых сигналов при невозможности обеспечения передачи данных в реальном масштабе времени или при нарушениях связи. При указанных в табл. 3 параметрах общий цифровой поток от приемной станции ССТП составит за 1 с приема сигналов $6 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 1,5 \cdot 10^6 = 3,6 \cdot 10^7$ байт = 34,33 Мбайт. Для сокращения объема передаваемых сигналов будем полагать, что относительное время приема – порядка 0,5: например, 1 с – прием и 1 с – пауза. Тогда общий объем записываемых сигналов за время видимости спутника (в среднем – около 12 мин) составит примерно 12 Гбайт. Передача такого объема данных в масштабе времени, близком к реальному, потребует скорости передачи данных на уровне 120 Мбит/с, что является стандартным для каналов связи по стандарту PON.

Оценка отношения сигнал/шум и точности измерения полного электронного содержания

Отношение сигнал/шум γ по одному периоду навигационного сигнала GPS ($T_0 = 1$ мс) на выходе приемного канала и отношение сигнал/шум ρ при заданном времени когерентного накопления T_n после цифрового диаграммообразования оценивались для указанных выше параметров системы НКИ по следующим расчетным соотношениям [11]:

$$\gamma_{1(2)} = \frac{P_{\text{gps}} G_{\text{gps}} G_{r_{\text{gps}}} G_{tr} G_{\text{шт}} \lambda_{\text{gps}}^2 \lambda_{150(400)}^2 T_0}{(4\pi)^4 R_{\text{нс-ср}}^2 R_{\text{ср-шт}}^2 k_{\text{шт}} k_{\text{Б}} T} K_p; \quad (2)$$

$$\rho_{1(2)} = \gamma_{1(2)} N_{\text{дл}} \frac{T_n}{T_0}, \quad (3)$$

где $P_{\text{gps}} = 25$ Вт – мощность излучения навигационного спутника на частоте L_1 (с учетом разделения между частотами L_1 и L_2); $G_{\text{gps}} \approx 50$, $G_{r_{\text{gps}}} \approx 2$, $G_{tr} \approx 2$, $G_{\text{шт}} \approx 1,5$ – коэффициенты усиления антенны навигационного спутника, приемной антенны навигационного сигнала, передающей антенны ретранслированного сигнала и вибратора КАР соответственно; $\lambda_{\text{gps}} = 0,19$ м – длина волны навигационного сигнала; $\lambda_{150} = 2,00$ м, $\lambda_{400} = 0,75$ м – длина волны ретранслированных сигналов; $T = 300$ К – температура приемного тракта приемной станции ССТП; $k_{\text{Б}} = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К; $R_{\text{нс-ср}} = 21$ тыс. км – среднее расстояние между НС и СР; $R_{\text{ср-шт}} = 1,5$ тыс. км – среднее расстояние СР – ПП при высоте орбиты 1000 км; $N_{44} \approx 4$ – эффективное число приемных каналов в шестизаэлементной КАР при цифровом диаграммообразовании, равное отношению коэффициента усиления КАР к коэффициенту усиления одного диполя.

Для указанных исходных данных $\gamma_1 = 11,0$ дБ, $\gamma_2 = 2,5$ дБ и $\rho_1 = 44,5$ дБ, $\rho_2 = 36,0$ дБ, среднеквадратическая ошибка оценки ПЭС в единичном измерении определяется согласно формуле [11]

$$\sigma_{\text{ПЭС}} = \sqrt{\frac{140}{N_{\text{нс}}} \left(\frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2} \right)} [\text{ТЕС}u], \quad (4)$$

где $N_{\text{нс}} = 7$ – число видимых навигационных спутников.

Для приведенных характеристик $\sigma_{\text{ПЭС}} = 0,07$ ТЕСu.

Требования к аппаратным и программным средствам центра обработки информации и управления

ЦОИиУ состоит из телекоммуникационного оборудования, сервера обработки сигналов и почтового сервера. ЦОИиУ в алгоритмическом виде решает следующие задачи:

- запрос и прием данных от центра контроля и управления ГНСС GPS по эфемеридам навигационных спутников GPS и прогнозирование местоположения навигационных спутников для произвольного момента времени;

- вычисление (уточнение) орбитальных параметров спутников-ретрансляторов, вычисление текущих координат СР, дальности, азимута и угла места наблюдения СР с приемных станций ССТП;

- определение моментов начала и окончания приема сигналов от СР на ССТП и номеров спутников GPS, видимых одновременно с СР и ССТП; расчет доплеровских сдвигов частот принимаемых сигналов;

- выдачу информации о моментах вхождения СР в зону приема сигналов на ССТП и продолжительности сеанса связи;

- прием данных (отсчетов сигналов), поступающих по каналам интернета от приемных станций ССТП, и их буферизация на SSD;

- внутрипериодную обработку принятых на частотах 150/400 МГц сигналов по всем приемным станциям ССТП, приемным каналам, видимым навигационным спутникам и каналам по доплеровскому сдвигу частоты с учетом неконтролируемых сдвигов частоты гетеродинов аппаратуры ретрансляции и дополнительного приемного канала ССТП;

- оценивание весовых коэффициентов приемных каналов, максимизирующих отношение сигнал/шум на выходе системы обработки;

- цифровое диаграммообразование сигнала суммарного канала из результатов внутрипериодной обработки по всем приемным станциям ССТП и всем видимым НС;

- компенсацию миграции дальности и частоты и когерентное накопление принятого сигнала по всем ССТП и всем навигационным спутникам;
- оценивание разности времени задержки сигналов 150/400 МГц, пересчет в оценку ПЭС на трассах СР – ССТП и усреднение оценок по всем видимым НС [11];
- оценивание координат СР в разовых измерениях и уточнение на этой основе его орбитальных параметров.

Требуемые характеристики вычислительных и программных средств ЦОИиУ приведены в табл. 4.

Таблица 4. Требуемые характеристики вычислительных и программных средств центра обработки информации и управления
Table 4. Required characteristics of computing and software facilities of the information processing and control center

Наименование характеристики	Значение характеристики
Входящие каналы	До 12 каналов xPON с пропускной способностью не менее 1 Гбит/с
Исходящие каналы	1 канал с пропускной способностью 1 Гбит/с
Сервер обработки принятых сигналов и оценивания ПЭС	Процессор Intel Core i9-14900KS (24 ядра, 32 потока) или аналоги от Ryzen + внешняя GPU серии 4080/4090 + RAM 32ГБ DDR5 и выше + NVMe SSD от 2ТБ
Сервер выдачи данных за текущее время и за конкретную дату	Процессор Intel Core i7-13700K (16 ядер, 24 потока) или аналоги от Ryzen + RAM 32ГБ DDR4/DDR5 + NVMe SSD от 2ТБ
База данных	PostgreSQL, 16-ядерный процессор (например, Intel Xeon или AMD EPYC), 4x NVMe SSD в RAID 10 (для повышения скорости чтения/записи и отказоустойчивости), ОЗУ от 16ГБ
База данных на файловой системе	Процессор Intel Core i7 или AMD Ryzen 7, 16ГБ RAM, SQLite

Оценка возможностей предлагаемой системы низкоорбитального контроля ионосферы

Для оценки возможностей предлагаемой системы НКИ разработан ее цифровой двойник. Цифровой двойник воспроизводит перемещение группы СР и НС по заданным орбитам, перемещение приемных станций ССТП вследствие вращения Земли, определение взаимного пространственного положения и видимости приемных станций, СР и НС и другие пространственные параметры, а также имитирует распределение полной электронной концентрации в ионосфере и результаты оценивания ПЭС на трассах СР – ПП за заданное время наблюдения. На рис. 5 показана полученная с использованием цифрового двойника типовая ситуация пролета СР вблизи территории Беларуси за 15 мин.

Положение СР на рис. 5, а показано прямоугольником белого цвета (1), если СР находится вне зоны видимости, и черного цвета (2, 3, 4), если он в зоне видимости. Цифрами 1–4 обозначены последовательные положения СР на орбите. Положение ПП ССТП показано желтыми точками, а одного из НС GPS в начальный и конечный моменты времени – круглыми маркерами. Вертикальная диаграмма иллюстрирует кодировку вертикально ПЭС в градациях яркости. На рис. 5, б показана зависимость измеренных ПЭС от времени.

Сектор приема сигнала от СР и измерения ПЭС для произвольного ПП ССТП по азимуту превышает 150°. Пренебрегая вращением Земли, что за указанное время наблюдения вполне допустимо, измерения ПЭС для одного ССТП располагаются на части боковой поверхности конуса с вершиной в точке расположения ССТП и образующей, представляющей собой участок орбиты СР. Общее число измерений для одного ССТП при периодичности измерений 2 составляет 450. При модернизации для приема ретранслированных сигналов 12-ти ССТП будет получено 5400 измерений ПЭС, располагающихся в соответствующем числе сечений. Сектор приема сигнала от НС значительно уже и составляет 8°–15° при общем секторе измерений ПЭС в пределах 100°–150°. Таким образом, данные от системы НКИ существенно увеличивают объем информации для решения томографической задачи.

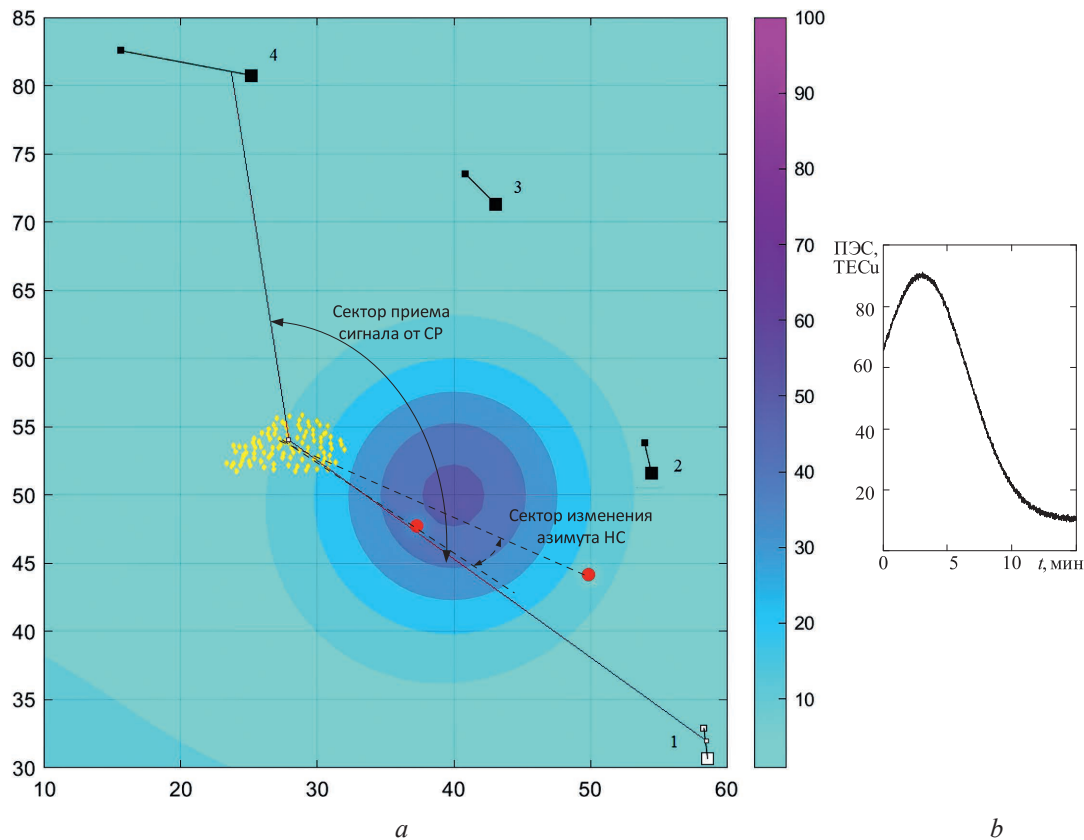


Рис. 5. Результаты моделирования пространственной ситуации и измерения полного электронного содержания

Fig. 5. Results of modeling the spatial situation and measuring the total electron content

Заключение

Предлагаемые состав, структура и характеристики системы низкоорбитального контроля ионосферы обеспечивают оперативное и высокоточное определение полного электронного содержания в широких угловых секторах в полностью автоматическом режиме и при переносе основных этапов обработки, включая цифровое диаграммообразование основных приемных каналов в круговых антенных решетках приемных пунктов спутниковой системы точного позиционирования и поляризационную адаптацию на едином сервере.

Список литературы

1. Куницын, В. Е. Радиотомография ионосферы / В. Е. Куницын, Е. Д. Терещенко, Е. С. Андреева. М.: Физматлит, 2007.
2. Афраймович, Э. Л. GPS-мониторинг верхней атмосферы Земли / Э. Л. Афраймович, Н. П. Первалова. Иркутск: Вост.-Сиб. науч. центр Сиб. отд. Рос. акад. мед. наук, 2006.
3. Ясюкевич, Ю. В. Развитие диагностических возможностей приемников сигналов глобальных навигационных спутниковых систем для мониторинга состояния ионосферы и коррекции ионосферной ошибки в радиотехнических системах / Ю. В. Ясюкевич. Иркутск: Ин-т солн.-зем. физики Сиб. отд. Рос. акад. наук, 2023.
4. Семейство наноспутников изучения ионосферы на базе платформы SamSat разработки Самарского университета / И. В. Белоконов [и др.] // Восьмой Белорусский космический конгресс: матер. конгресса, в 2 т., г. Минск, 25–27 октября 2022 г. Минск: Объед. ин-т пробл. информ. Нац. акад. наук Беларуси, 2022. Т. 1. С. 167–170.
5. Application of FORMOSAT-3/COSMIC Mission to Global Earth Monitoring / C.-J. Fong [et al.] // Space 2005, Long Beach, California, 30 Aug.–1 Sept. 2005. Long Beach, 2005. <https://doi.org/10.2514/6.2005-6774>.

6. Романов, А. А. Измерение полного электронного содержания ионосферы Земли с помощью многочастотного когерентного зондирующего сигнала / А. А. Романов, А. В. Новиков // Вопросы электромеханики: тр. НИИ «Всерос. Науч.-иссл. ин-т электромех.». М.: Всерос. Науч.-иссл. ин-т электромех., 2009. Т. 111. С. 31–36.
7. Determination of Total Electron Content in the Ionosphere over the Territory of the Republic of Belarus Based on Global Navigation Satellite Systems Data / A. O. Naumov [et al.] // Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-Technical Series. 2024. Vol. 69, No 1. P. 53–64.
8. Methods and Software for Estimation of Total Electron Content in Ionosphere Using GNSS Observations / A. Naumov [et al.] // Engineering Applications. 2023. Vol. 2, No 3. P. 243–253.
9. Accuracy of Global Ionosphere Maps in Relation to Their Time Interval / B. Milanowska [et al.] // Remote Sens. 2021. No 13.
10. Wang, Y. Estimation and Analysis of GNSS Differential Code Biases (DCBs) Using a Multi-Spacing Software Receiver / Y. Wang, L. Zhao, Y. Gao // Sensors (Basel). 2021. Vol. 21, No 2.
11. Способ оценивания полного электронного содержания в ионосфере на основе ретрансляции сигналов глобальной навигационной спутниковой системы GPS / И. В. Белоконов [и др.] // Информатика. 2023. Т. 20, № 2. С. 7–27. <https://doi.org/10.37661/1816-0301-2023-20-2-7-27>.
12. Обработка ретранслированных навигационных сигналов глобальной навигационной спутниковой системы GPS в задаче оценивания полного электронного содержания в ионосфере / Е. А. Каплярчук [и др.] // Информатика. 2023. Т. 20, № 3. С. 21–36. <https://doi.org/10.37661/1816-0301-2023-20-3-21-36>.
13. Руководство по использованию глобальных навигационных спутниковых систем при выполнении работ по технической инвентаризации и проверке характеристик недвижимого имущества. Версия 1.0. Минск: Науч.-произв. гос. респ. предпр. «Нац. кадастр. агентс.», 2018.
14. Дэвис, К. Радиоволны в ионосфере, пер. с англ. / К. Дэвис. М.: Мир, 1973.

References

1. Kunitsyn V. E., Tereshchenko E. D., Andreeva E. S. (2007) *Radiotomography of the Ionosphere*. Moscow, Fizmatlit Publ. (in Russian).
2. Afraimovich E. L., Perevalova N. P. (2006) *GPS Monitoring of the Earth's Upper Atmosphere*. Irkutsk, East Siberian Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Medical Sciences (in Russian).
3. Yasyukevich Yu. V. (2023) *Development of Diagnostic Capabilities of Signal Receivers of Global Navigation Satellite Systems for Monitoring the State of the Ionosphere and Correcting Ionospheric Errors in Radio Systems*. Irkutsk, Institute of Solar-Terrestrial Physics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (in Russian).
4. Belokonov I. V., Boltov E. A., Elisov N. A., Lomaka I. A., Nikolaev P. N., Shafran S. V. (2022) Family of Nanosatellites for Studying the Ionosphere Based on the SamSat Platform Developed by Samara University. *Eighth Belarusian Space Congress, Materials of the Congress, Vol. 1, Oct. 25–27*. Minsk, United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus. 167–170 (in Russian).
5. Chen-Joe Fong, Bor-Han Wu, Nick Yen, Paul Chen (2005) Application of FORMOSAT-3/COSMIC Mission to Global Earth Monitoring. *Space 2005, Long Beach, California, 30 Aug.–1 Sept. Long Beach*. <https://doi.org/10.2514/6.2005-6774>.
6. Romanov A. A., Novikov A. V. (2009) Measurement of the Total Electron Content of the Earth's Ionosphere Using a Multi-Frequency Coherent Sounding Signal. *Problems of Electromechanics, Tr. Scientific and Production Enterprise "All-Russian Research Institute of Electromechanics", Vol. 111*. Moscow, Scientific and Production Enterprise "All-Russian Research Institute of Electromechanics". 31–36 (in Russian).
7. Naumov A. O., Khmarskiy P. A., Byshnev N. I., Piatrouski M. A. (2024) Determination of Total Electron Content in the Ionosphere over the Territory of the Republic of Belarus Based on Global Navigation Satellite Systems Data. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-Technical Series*. 69 (1), 53–64.
8. Naumov A., Khmarskiy P., Byshnev N., Piatrouski M. (2023) Methods and Software for Estimation of Total Electron Content in the Ionosphere Using GNSS Observations. *Engineering Applications*. 2 (3), 243–253.
9. Milanowska B., Wielgosz P., Krypiak-Gregorczyk A., Jarmołowski W. (2021) Accuracy of Global Ionosphere Maps in Relation to Their Time Interval. *Remote Sens*. (13).
10. Wang Y., Zhao L., Gao Y. (2021). Estimation and Analysis of GNSS Differential Code Biases (DCBs) Using a Multi-Spacing Software Receiver. *Sensors (Basel)*. 21 (2).
11. Belokonov I. V., Krot A. M., Kozlov S. V., Kapliarchuk Y. A., Savinykh I. E., Shapkin A. S. (2023) A Method for Estimating the Total Electron Content in the Ionosphere Based on the Retransmission of Signals from the Global Navigation Satellite System GPS. *Informatics*. 20 (2), 7–27. <https://doi.org/10.37661/1816-0301-2023-20-2-7-27> (in Russian).
12. Kapliarchuk Y. A., Kozlov S. V., Savinykh I. E., Shapkin A. S. (2023) Processing of Relayed Navigation Signals of the Global Navigation Satellite System GPS in the Problem of Estimating the Total Electron Content in the Ionosphere. *Informatics*. 20 (3), 21–36. <https://doi.org/10.37661/1816-0301-2023-20-3-21-36> (in Russian).

13. *Guidelines for the Use of Global Navigation Satellite Systems when Performing Work on Technical Inventory and Checking the Characteristics of Real Estate. Version 1.0.* Minsk, Scientific and Production State Republican Enterprise “National Cadastral Agency”, 2018 (in Russian).
14. Davies K. (1969) *Ionospheric Radio Waves*. Moscow, Mir Publ. (in Russian).

Вклад авторов

Каплярчук Е. А. обосновал требования к аппаратуре и каналам связи.

Козлов С. В. предложил концепции построения системы низкоорбитального контроля ионосферы и цифрового двойника.

Крот А. М. разработал алгоритм оценки полного электронного содержания ионосферы и определил роль системы низкоорбитального контроля ионосферы в общей структуре средств исследования ионосферы.

Савиных И. Э. выполнила оценку возможностей системы низкоорбитального контроля ионосферы.

Шапкин А. С. принял участие в разработке цифрового двойника и выполнил его моделирование.

Authors' contribution

Kaplarchuk Ya. A. substantiated the requirements for equipment and communication channels.

Kozlov S. V. proposed concepts for constructing a low-orbit ionosphere monitoring system and a digital twin.

Krot A. M. developed an algorithm for assessing the total electron content of the ionosphere and determined the role of the low-orbit ionosphere monitoring system in the overall structure of ionosphere research tools.

Savinykh I. E. assessed the capabilities of the low-orbit ionosphere monitoring system.

Shapkin A. S. took part in developing the digital twin and performed its modeling.

Сведения об авторах

Каплярчук Е. А., инж.-програм., фрилансер

Козлов С. В., д-р техн. наук, проф., проф. каф. информационных радиотехнологий, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Крот А. М., д-р техн. наук, проф., зав. лаб. самоорганизующихся систем, Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси (ОИПИ НАН Беларуси)

Савиных И. Э., магистрант, инж.-програм. лаб. самоорганизующихся систем, ОИПИ НАН Беларуси

Шапкин А. С., асп., ОИПИ НАН Беларуси

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. П. Бровки, 6
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
Тел.: +375 17 293-89-11
E-mail: kozlov@bsuir.by
Козлов Сергей Вячеславович

Information about the authors

Kaplarchuk Ya. A., Software Engineer, Freelancer

Kozlov S. V., Dr. of Sci. (Tech.), Professor, Professor at the Department of Information Radiotechnologies, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

Krot A. M., Dr. of Sci. (Tech.), Professor, Head of the Laboratory of Self-Organizing Systems, United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus (UIIP NAS of Belarus)

Savinykh I. E., Master's Student, Software Engineer at the Laboratory of Self-Organizing Systems, UIIP NAS of Belarus

Shapkin A. S., Graduate Student, UIIP NAS of Belarus

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,
Minsk, P. Brovki St., 6
Belarusian State University
of Informatics and Radioelectronics
Tel.: +375 17 293-89-11
E-mail: kozlov@bsuir.by
Kozlov Sergey Vyacheslavovich



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-4-62-72>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 004.33.054

ПОСТРОЕНИЕ УПРАВЛЯЕМЫХ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ТЕСТОВ С ЗАДАНЫМ РАССТОЯНИЕМ ХЭММИНГА

В. Н. ЯРМОЛИК, Д. В. ДЕМЕНКОВЕЦ, В. А. ЛЕВАНЦЕВИЧ, В. В. ПЕТРОВСКАЯ

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

Поступила в редакцию 18.07.2024

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2024
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2024

Аннотация. Рассмотрены вопросы тестирования вычислительных систем и их составных компонентов. Показана невысокая эффективность вероятностного тестирования из-за неиспользования имеющейся информации как об объекте тестирования, так и о ранее сгенерированных тестовых наборах. Отмечена перспективность применения информации о предыдущих тестовых наборах при построении управляемых вероятностных тестов. Выделен и исследован класс управляемых вероятностных тестов с малым числом тестовых наборов. Проанализированы известные стандартные управляемые вероятностные тесты с малым числом тестовых наборов. Рассмотрен метод генерирования управляемых вероятностных тестов с заданным расстоянием Хэмминга, основой которого является представление двоичных тестовых наборов в виде совокупности символов иных систем счисления. Обеспечение заданного значения расстояния Хэмминга для управляемого вероятностного теста в недвоичной системе счисления гарантирует такое же значение и для двоичной интерпретации формируемых тестовых наборов. Эффективность предложенного метода построения тестов экспериментально проанализирована и подтверждена для случая тестирования запоминающих устройств на наличие сложных неисправностей взаимного влияния.

Ключевые слова: тест, тестовый набор, тестирование вычислительных систем, вероятностное тестирование, расстояние Хэмминга, граница Плоткина, неисправности запоминающих устройств, тестирование запоминающих устройств.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Построение управляемых вероятностных тестов с заданным расстоянием Хэмминга / В. Н. Ярмолик [и др.] // Цифровая трансформация. 2024. Т. 30, № 4. С. 62–72. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-4-62-72>.

DESIGN OF CONTROLLED RANDOM TESTS WITH THE GIVEN HAMMING DISTANCE

VYACHESLAV N. YARMOLIK, DENIS V. DEMENKOVETS,
VLADIMIR A. LEVANTSEVICH, VITA V. PETROVSKAYA

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

Submitted 18.07.2024

Abstract. The article considers the issues of testing computing systems and their components. It shows the low efficiency of probabilistic testing due to the failure to use the available information about both the test object and previously generated test sets. It is noted that it is promising to use information about previous test sets when constructing controlled probabilistic tests. A class of controlled probabilistic tests with a small number of test sets is identified and studied. Known standard controlled probabilistic tests with a small number of test sets are

analyzed. A method for generating controlled probabilistic tests with a given Hamming distance is considered, the basis of which is the representation of binary test sets as a set of symbols of other number systems. Providing a given value of the Hamming distance for a controlled probabilistic test in a non-binary number system guarantees the same value for the binary interpretation of the generated test sets. The efficiency of the proposed test construction method is experimentally analyzed and confirmed for the case of testing memory devices for the presence of complex faults of mutual influence.

Keywords: test, test pattern, computer system testing, random testing, Hamming distance, Plotkin bound, memory faults, memory testing.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

For citation. Yarmolik V. N., Demenkovets D. V., Levantsevich V. A., Petrovskaya V. V. (2024) Design of Controlled Random Tests with the Given Hamming Distance. *Digital Transformation*. 30 (4), 62–72. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-4-62-72> (in Russian).

Введение

Несмотря на десятилетия усилий по разработке альтернативных технологий, тестирование вычислительных систем – основной способ проверки качества программных и аппаратных средств вычислительных систем и их приложений. Однако тестирование остается трудоемким, медленным и несовершенным процессом. Поэтому важным является использование систематических автоматизированных методов построения тестовых процедур. Попытки автоматизировать создание тестовых процедур и данных с помощью различных форм вероятностного формирования и отбора были предприняты с начала 1960-х годов и стали постоянной практикой как в научной, так и в прикладной сферах [1–4]. Вероятностное тестирование (random testing) просто по своей концепции, легко реализуется и эффективно выявляет неисправности вычислительных систем и их компонентов, а именно: программного обеспечения, аппаратных средств и запоминающих устройств [4, 5]. Данный вид тестирования широко использовался и используется сам по себе как метод тестирования, более того, он составляет основную часть многих других методов тестирования [5].

Основным недостатком вероятностного тестирования является его невысокая эффективность из-за неиспользования имеющейся информации об объекте тестирования при построении тестовых данных. Поэтому в настоящее время активно развиваются различные методы построения тестов, в которых случайный фактор играет не доминирующую роль [5–7]. Лидирующую позицию среди них занимает адаптивное вероятностное тестирование (adaptive random testing) [8–10]. В русскоязычных публикациях подобное тестирование часто называют управляемым вероятностным тестированием (controlled random testing). Данный вид тестирования и его многочисленные модификации основаны на вычислении некоторых характеристик для управляемого формирования очередного случайного тестового набора. Большинство известных подходов генерирования адаптивных вероятностных тестов базируется на применении расстояния Хэмминга в качестве характеристики, определяющей выбор очередного набора. Поиск тестового набора из потенциальных кандидатов в тестовые наборы состоит в нахождении такого кандидата в тесты, который удовлетворяет заданным критериям. В случае расстояния Хэмминга этим критерием является само расстояние, пороговое значение которого влияет как на процедуру выбора тестового набора, так и на длину самого теста. Чем выше значения критериев выбора, в частности, расстояния Хэмминга, тем сложнее процедура выбора и заметнее уменьшение длины вероятностного теста. Необходимость перебора потенциальных кандидатов в тестовые наборы и вычисления для них характеристик увеличивает сложность формирования управляемых вероятностных тестов [5, 9].

Анализ управляемых вероятностных тестов

Как показано в [5–13], очередной тестовый набор $T_i = t_{i,0}, t_{i,1}, \dots, t_{i,n-1}$, где $t_{i,l} \in \{0, 1\}$, $l \in \{0, 1, 2, \dots, n-1\}$, управляемого вероятностного теста формируется максимально отличающимся от ранее сгенерированных наборов $T_0, T_1, T_2, \dots, T_{i-1}$. Таким образом, принимается гипотеза, что для двух тестовых наборов, имеющих максимальное отличие, количество обнаруживаемых неисправностей (ошибок) вторым набором будет максимальным. В качестве критерия отличия тестового набора T_i от предыдущих наборов $T_0, T_1, T_2, \dots, T_{i-1}$ часто применяется расстояние Хэмминга

(Hamming distance) $HD(T_i, T_j)$ для $j \in \{0, 1, \dots, i-1\}$. Соотношение очередного тестового набора к предыдущим наборам определяется минимальным расстоянием Хэмминга $\min HD(T_i, T_j)$, величина которого соответствует определению согласно [14, 15].

Определение 1. Значение $\min HD(T_i, T_j)$ равняется минимальному расстоянию Хэмминга между двумя произвольными тестовыми наборами T_i и T_j , $i \neq j \in \{0, 1, 2, \dots, q-1\}$, из множества наборов теста $T = \{T_0, T_1, T_2, \dots, T_{q-1}\}$.

В терминах теории помехоустойчивого кодирования характеристику $\min HD(T_i, T_j)$ можно рассматривать как кодовое расстояние d кода T , которое равняется наименьшему расстоянию Хэмминга между различными парами кодовых слов $T_0, T_1, T_2, \dots, T_{q-1}$. Поэтому, исходя из основополагающих принципов теории кодирования, можно сформулировать ряд полезных выводов, которые необходимо учитывать при генерировании управляемых вероятностных тестов [5].

В частности, характерной особенностью управляемых вероятностных тестов является ограниченность их длины, причем, чем больше минимальное расстояние $\min HD(T_i, T_j)$, используемое как критерий включения T_i в тест, тем меньше количество q наборов, удовлетворяющих данному критерию. Это следует из предельной оценки Хэмминга (Hamming bound) [15]. Для $\min HD(T_i, T_j) = 2r + 1$, r – целое, эта оценка может быть представлена как неравенство

$$q \leq 2^n / \sum_{l=0}^r \binom{n}{l}. \quad (1)$$

Например, в случае, когда $n = 8$ и $d = \min HD(T_i, T_j) = 5 = 2 \cdot 2 + 1$, согласно (1), оказывается возможным построение теста, состоящего из $q \leq 2^8 / \sum_{l=0}^2 \binom{8}{l} = 2^8 / (1 + 8 + 28) \leq 6$ тестовых наборов с расстоянием Хэмминга $HD(T_i, T_j)$ больше или равным 5. Увеличение расстояния Хэмминга $\min HD(T_i, T_j)$, например, до значения 7, уменьшает оценку q до величины 2, откуда следует, что управляемый вероятностный тест для $n = 8$ и $d = \min HD(T_i, T_j) = 7$ будет состоять не более чем из двух наборов $T = \{T_0, T_1\}$. Важно отметить, что набор T_0 формируется случайным образом и может принимать любое из $2^n = 2^8$ двоичных значений, а второй набор выбирается согласно критерию $\min HD(T_0, T_1) \geq 7$. Таким образом, существует большое множество управляемых вероятностных тестов T с $\min HD(T_i, T_j) = 7$, однако каждый из них состоит только из двух наборов T_0 и T_1 .

Для синтеза вероятностных тестов с малым количеством наборов q в [12] рассмотрены классические коды с максимальным минимальным расстоянием Хэмминга $\min HD(T_i, T_j) > n/2$. Показано, что теорема Плоткина позволяет определить максимально возможное количество q кодовых слов среди двоичных кодов длины n для минимального кодового расстояния, а граница Плоткина дает верхний предел этого количества [11].

Определение 2 (граница Плоткина). Если $d = \min HD(T_i, T_j) \geq n/2$, то для q выполняется неравенство

$$q \leq \begin{cases} \frac{2d}{2d-n}, & \text{для } 2d-n > 0; \\ 4d, & \text{для } 2d-n = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Для случая, когда $2d - n > 0$ (2), справедливо следующее соотношение:

$$d \leq qn / (2(q-1)). \quad (3)$$

Основополагающая идея построения управляемых вероятностных тестов $MMHD(q) = \{T_0, T_1, T_2, \dots, T_{q-1}\}$ с малым количеством тестовых наборов q заключается в обеспечении максимально возможного значения $\max \min HD(T_i, T_j)$ для $d = \min HD(T_i, T_j) > n/2$ [12]. Соотношение (3) позволяет получить максимальное минимальное расстояние $\max \min HD(T_i, T_j)$ для заданных значений q . Как показано в [5, 12], для случая $q = 3$, в соответствии с (3), $\max \min HD(T_i, T_j) \leq 3n/4$. Однако для теста $MMHD(3)$, так же, как и для $MMHD(4)$, как показано в [5], $\max \min \{MMHD(3)\} = \max \min \{MMHD(4)\} = 2n/3$. При увеличении числа наборов q значение $\max \min \{MMHD(q)\}$ быстро сходится к величине, равной $n/2$. Поэтому данный алгоритм целесообразно применять для синтеза вероятностных тестов с малым числом наборов $q < 10$ [12].

В [13] рассмотрен метод синтеза оптимальных управляемых вероятностных тестов (Optimal Controlled Random Tests (OCRT)) с использованием расстояния Хэмминга $HD(T_i, T_j)$ для тестовых наборов T_i и T_j и их декартова расстояния $CD(T_i, T_j)$. Подобные тесты характеризуются тем, что для них $d = \min HD(T_i, T_j) \geq n/2$. Для общего случая количество наборов OCRT определяется как $q = 2(\lceil \log_2 n \rceil + 1)$, а конструктивный алгоритм для формирования тестовых наборов представлен в [5, 13]. В случае, когда $n = 2^m$, где m – целое, количество q наборов OCRT $= \{T_0, T_1, T_2, \dots, T_{q-1}\}$ равняется $2(m + 1)$. Например, для $n = 4$ количество тестовых наборов OCRT $q = 6$, а для $n = 8$ – соответственно, 8. Как несложно заметить (см. Определение 2), граница Плоткина в первом случае дает верхнюю оценку количества наборов, равную 8, а во втором – 16. С ростом разрядности наборов n сложность OCRT-теста еще более отстоит от максимальных граничных оценок (2).

Суммируя проведенный анализ, можно сделать следующие выводы. Во-первых, увеличение пороговых значений $\min HD(T_i, T_j)$ при синтезе управляемых вероятностных n -разрядных тестовых наборов уменьшает их количество q , и наоборот, уменьшение задаваемых $\min HD(T_i, T_j)$ увеличивает длину теста. Во-вторых, известные формальные методы генерирования управляемых вероятностных тестов с фиксированной длиной характеризуются лишь приближением к их максимальным теоретическим оценкам (1) и (2). И, наконец, третьим, главным выводом по результатам приведенного анализа является высокая вычислительная сложность генерирования управляемых вероятностных тестов, требующая выбора тестового набора из большого числа кандидатов в тесты. Только для $\min HD(T_i, T_j) \geq n/2$ и при других ограничениях удастся избежать рутинной процедуры поиска тестовых наборов, удовлетворяющих заданным критериям, из множества потенциальных кандидатов в тесты [9, 12, 13].

Задача построения управляемых вероятностных тестов с произвольным фиксированным расстоянием Хэмминга как критерием включения кандидата в генерируемый тест и невысокой вычислительной сложностью по-прежнему является актуальной.

Управляемые вероятностные тесты с заданным расстоянием Хэмминга

Для общего случая определение расстояния Хэмминга основано на сравнении двух последовательностей $T_i = t_{i,0}, t_{i,1}, \dots, t_{i,n-1}$ и $T_j = t_{j,0}, t_{j,1}, \dots, t_{j,n-1}$, включающих по n символов $t_{i,l}$ и $t_{j,l}$ из произвольного алфавита [11]. Расстояние Хэмминга $HD(T_i, T_j)$ между T_i и T_j как количество позиций, в которых $t_{i,l}$ и $t_{j,l}$ различаются, описывается соотношением

$$HD(T_i, T_j) = \sum_{l=0}^{n-1} I(t_{i,l} \neq t_{j,l}). \quad (4)$$

Выражение $I(t_{i,l} \neq t_{j,l})$ представляет собой индикаторную функцию, равную единице при $t_{i,l} \neq t_{j,l}$ и нулю в противном случае. В результате сравнения одноименных символов наборов T_i и T_j минимальное значение $\min HD(T_i, T_j)$ равняется 0 при совпадении всех символов, а $\max HD(T_i, T_j) = n$ при несовпадении всех n символов. Чаще всего рассматривается случай двоичных тестовых наборов, которые можно интерпретировать как наборы символов из иных алфавитов [14, 15]. Например, четверичного, восьмеричного, шестнадцатеричного и других алфавитов, для которых фиксированное количество последовательных бит исходного двоичного набора представляет собой двоичный код символа соответствующего алфавита. Двоичный набор $T_i = T_{i(2)} = 01111011_{(2)}$, рассматривая каждые два последовательных бита в отдельности, можно представить в четверичной системе счисления, в которой используется алфавит из четырех символов 0, 1, 2 и 3, как $T_{i(4)} = 1323_{(4)}$. В шестнадцатеричной системе этот же набор $T_{i(2)}$ примет вид $T_{i(16)} = 7B_{(16)}$. Принимая разрядность n исходного двоичного тестового набора как величину, равную 2^m , следует отметить, что при изменении алфавита представления набора T_i изменяется и его размерность: от n двоичных символов до одного символа 2^{2^m} -й системы счисления.

Предложенная интерпретация последовательностей двоичных символов T_i и T_j , состоящих из $n = 2^m$ бит, в виде последовательностей $T_{i(2)}, T_{i(4)}, T_{i(16)}, \dots, T_{i(2^{2^m})}$ и $T_{j(2)}, T_{j(4)}, T_{j(16)}, \dots, T_{j(2^{2^m})}$ позволяет применять для их сравнения расстояние Хэмминга (4). При этом анализируются пары символов из двух наборов, состоящих из одинакового количества символов одного и того же алфавита. Основываясь на предыдущем примере набора $T_i = 01111011_{(2)}$ и используя $T_j = 01011011_{(2)}$,

на основании (4) получим $HD_{(2)}(01111011, 01011011) = 1$, $HD_{(4)}(1323, 1123) = 1$, $HD_{(16)}(7B, 5B) = 1$ и $HD_{(256)}(\{\}, \{\}) = 1$.

Приведенный пример определения расстояния Хэмминга показывает возможность получения на основании (4) нескольких численных оценок соотношения исходных двоичных наборов T_i и T_j . Обобщая приведенные рассуждения, определим расстояние Хэмминга для двоичных $n = 2^m$ -рядных тестовых наборов T_i и T_j , представленных в $w = 2^{2^r}$ -м алфавите, где $r \in \{0, 1, 2, \dots, m\}$.

Определение 3. Расстояние Хэмминга $HD_{(w)}(T_i, T_j)$ для двоичных тестовых наборов $T_i = t_{i,0}, t_{i,1}, \dots, t_{i,2^m-1}$ и $T_j = t_{j,0}, t_{j,1}, \dots, t_{j,2^m-1}$, где $t_{i,l}, t_{j,l} \in \{0, 1\}$; $l \in \{0, 1, 2, \dots, 2^m-1\}$; $w = 2^{2^r}$; $r \in \{0, 1, 2, \dots, m\}$, определяется согласно (4), когда 2^r последовательных бит T_i и T_j интерпретируются как символы 2^{2^r} -го алфавита.

Расстояния Хэмминга $HD_{(w)}(T_i, T_j)$, где $w = 2^{2^r}$ и $r \in \{0, 1, 2, \dots, m\}$, для двоичных тестовых наборов T_i и T_j имеют следующие основные свойства и соотношения [15].

Свойство 1. Минимальное численное значение $\min HD_{(w)}(T_i, T_j)$ равняется 0, а максимальное $\max HD_{(w)}(T_i, T_j) = \max HD_{(2^{2^r})}(T_i, T_j) = 2^{m-r}$ – определяется количеством символов соответствующего алфавита w в сравниваемых наборах T_i и T_j .

В соответствии со свойством 1 имеем: $\max HD_{(2)}(T_i, T_j) = 2^m$, $\max HD_{(4)}(T_i, T_j) = 2^{m-1}$, $\max HD_{(16)}(T_i, T_j) = 2^{m-2}$, ..., $\max HD_{(2^{2^m})}(T_i, T_j) = 1$.

Свойство 2. Численные значения расстояний Хэмминга $HD_{(w)}(T_i, T_j)$ связаны следующими соотношениями: $HD_{(2)}(T_i, T_j) \geq HD_{(4)}(T_i, T_j) \geq HD_{(16)}(T_i, T_j) \geq \dots \geq HD_{(2^{2^m})}(T_i, T_j)$.

Выполнение данного свойства объясняется тем, что при вычислении $HD_{(2^{2^r})}(T_i, T_j)$ используются символы наборов $T_{i,(2^{2^r})}$ и $T_{j,(2^{2^r})}$, каждый из которых состоит из двух символов наборов $T_{i,(2^{2^{r-1}})}$ и $T_{j,(2^{2^{r-1}})}$, т. е. $t_{i,l}(2^{2^r}) = t_{i,2l}(2^{2^{r-1}})$ и $t_{j,l}(2^{2^r}) = t_{j,2l}(2^{2^{r-1}})$, $t_{j,2l+1}(2^{2^{r-1}})$, где $l = 0, 1, 2, \dots, 2^{m-r} - 1$. Таким образом, результатом сравнения $I(t_{i,l}(2^{2^r}) \neq t_{j,l}(2^{2^r}))$ символов наборов $T_{i,(2^{2^r})}$ и $T_{j,(2^{2^r})}$ могут быть только два значения – 0 или 1, используемые для получения $HD_{(2^{2^r})}(T_i, T_j)$ (4). Результатом сравнения двух пар символов последовательностей $T_{i,(2^{2^{r-1}})}$ и $T_{j,(2^{2^{r-1}})}$ могут быть 0, 1 и 2. При этом при выполнении неравенства $t_{i,l}(2^{2^r}) \neq t_{k,l}(2^{2^r})$ значение $HD_{(2^{2^r})}(T_i, T_j)$ (4) увеличится только на 1, а $HD_{(2^{2^{r-1}})}(T_i, T_j)$ может быть увеличено как на 1, так и на 2, но как минимум на 1.

Важным следствием свойства 2 является выполнение неравенства $HD_{(2)}(T_i, T_j) \geq HD_{(2^{2^r})}(T_{i,(2^{2^r})}, T_{j,(2^{2^r})})$, которое можно интерпретировать следующим образом. Обеспечение заданного расстояния Хэмминга $\min HD_{(w)}(T_i, T_j)$ для наборов T_i и T_j , представленных в $w = 2^{2^r}$ -м алфавите, гарантирует значение величины $HD_{(2)}(T_i, T_j)$ для этих же наборов, представленных в двоичном алфавите, не менее чем $\min HD_{(w)}(T_i, T_j)$.

Поясним данное следствие на примере двоичного набора $T_i = 01111011_{(2)}$, который в четверичном алфавите имеет вид $T_i = 1323_{(4)}$. Если в качестве T_j выбрать набор $2021_{(4)}$, то $HD_{(4)}(1323, 2021) = 3$. В то же время для двоичного случая величина $HD_{(2)}(01111011, 10001001) = 5$ принимает значение не менее чем $HD_{(4)}(1323, 2021) = 3$, что соответствует свойству 2.

Продолжая рассматривать этот пример, далее можно отметить, что для формирования четверичного набора T_j , максимально отличного от набора $T_i = 1323_{(4)}$, т. е. для которого $HD_{(4)}(T_i, T_j) = 4$, необходимо сформировать каждый четверичный символ этого набора T_j отличающимся от соответствующего символа набора T_i . Таким образом, в качестве первого символа набора T_j могут быть 0, 2 и 3, в качестве второго – 0, 1 и 2, третьего – 0, 1 и 3, а четвертого – 0, 1 и 2. Один из возможных вариантов набора T_j имеет вид $0210_{(4)}$, а общее их количество равняется 3^4 . В результате приведенных рассуждений наборы $T_i = 1323_{(4)}$ и $T_j = 0210_{(4)}$ можно интерпретировать как управляемый вероятностный тест, состоящий из двух наборов с $HD_{(2)}(T_i, T_j) \geq HD_{(4)}(T_i, T_j) = 4$. Действительно, $HD_{(2)}(T_i, T_j) = HD_{(2)}(01111011, 00100100) = 6$.

Третий набор T_k управляемого вероятностного теста, состоящего уже из трех четверичных наборов, а именно T_i , T_j и T_k , каждый из которых максимально удален друг от друга, формируется аналогичным образом. Соответственно, первым четверичным символом набора T_k мо-

жет быть 2 либо 3 в силу того, что первый символ набора T_i равняется 1, а набора $T_j = 0$. Аналогичным образом определяются кандидаты в последующие символы набора T_k . В результате третьим набором T_k может быть, например, набор 2132₍₄₎, максимально удаленный от T_i и T_j , так как $HD_{(4)}(1323, 2132) = HD_{(4)}(0210, 2132) = 4$. Общее количество возможных значений набора T_k равняется 2⁴.

Следующим, четвертым набором T_o управляемого вероятностного теста, максимально удаленным от T_i, T_j и T_k , может быть только набор, имеющий вид 3001₍₄₎, так как в противном случае были бы использованы повторяющиеся символы в одноименных разрядах наборов T_i, T_j, T_k и T_o . Наличие одинаковых символов приводит к тому, что $HD_{(4)}$ становится меньше 4. Сформированный таким образом управляемый вероятностный тест, включающий четыре тестовых набора, а также численные значения расстояний Хэмминга, приведен в табл. 1.

Таблица 1. Значения расстояний Хэмминга $HD_{(4)}$ и $HD_{(2)}$ для тестовых наборов T_i, T_j, T_k и T_o
Table 1. Values of Hamming distances $HD_{(4)}$ and $HD_{(2)}$ for test patterns T_i, T_j, T_k and T_o

T_i, T_j, T_k, T_o		$HD_{(4)}$	$HD_{(2)}$
1323 ₍₄₎	01111011 ₍₂₎	$HD_{(4)}(T_i, T_j) = 4$	$HD_{(2)}(T_i, T_j) = 6$
0210 ₍₄₎	00100100 ₍₂₎	$HD_{(4)}(T_i, T_k) = 4$	$HD_{(2)}(T_i, T_k) = 5$
2132 ₍₄₎	10011110 ₍₂₎	$HD_{(4)}(T_j, T_k) = 4$	$HD_{(2)}(T_j, T_k) = 5$
3001 ₍₄₎	11000001 ₍₂₎	$HD_{(4)}(T_i, T_o) = 4$	$HD_{(2)}(T_i, T_o) = 5$
		$HD_{(4)}(T_j, T_o) = 4$	$HD_{(2)}(T_j, T_o) = 5$
		$HD_{(4)}(T_k, T_o) = 4$	$HD_{(2)}(T_k, T_o) = 6$

Анализ приведенного примера формирования управляемого вероятностного теста, состоящего из четырех тестовых наборов на основе четверичного алфавита, позволил сформировать тест, для которого $\max_{x \neq y} \min HD(T_x, T_y) = 5, x \neq y \in \{i, j, k, o\}$ (табл. 1). При построении данного теста разрядность тестовых наборов должна принимать значение, кратное двум, и может быть произвольной. Важным является использование в каждом разряде наборов различных значений четверичных символов, так, как это было получено в случае $n = 8$ (табл. 1). С помощью подобной процедуры можно сгенерировать аналогичные тесты, состоящие из произвольного четного количества бит n . При этом единственным критерием при формировании тестовых наборов является использование в одноименных разрядах наборов всех четверичных символов 0, 1, 2 и 3. Примеры таких управляемых вероятностных тестов, состоящих из четырех наборов, приведены в табл. 2.

Таблица 2. Управляемые вероятностные тесты, состоящие из четырех наборов
Table 2. Controlled random tests consisting of four patterns

$n = 2$	$n = 4$	$n = 8$	$n = 16$
1 ₍₄₎ = 01 ₍₂₎	01 ₍₄₎ = 0001 ₍₂₎	0000 ₍₄₎ = 00000000 ₍₂₎	30201000 ₍₄₎ = 1100100001000000 ₍₂₎
3 ₍₄₎ = 11 ₍₂₎	32 ₍₄₎ = 1110 ₍₂₎	1111 ₍₄₎ = 01010101 ₍₂₎	21312131 ₍₄₎ = 1001110110011101 ₍₂₎
0 ₍₄₎ = 00 ₍₂₎	10 ₍₄₎ = 0100 ₍₂₎	2222 ₍₄₎ = 10101010 ₍₂₎	12023222 ₍₄₎ = 0110001011101010 ₍₂₎
2 ₍₄₎ = 10 ₍₂₎	23 ₍₄₎ = 1011 ₍₂₎	3333 ₍₄₎ = 11111111 ₍₂₎	03130313 ₍₄₎ = 0011011100110111 ₍₂₎

Как видно из табл. 2, для случая $n = 8$ тест имеет регулярную структуру, когда каждый разряд тестовых наборов представляет собой одинаковую последовательность четверичных символов 0, 1, 2 и 3. Главной особенностью представленных в табл. 2 тестов является обеспечение для их тестовых наборов значения $\max_{x \neq y} \min HD(T_x, T_y) \geq n/2$.

Основываясь на рассмотренных примерах построения управляемого вероятностного теста, состоящего из четырех тестовых наборов и обеспечивающего фиксированное $\max_{x \neq y} \min HD(T_x, T_y) \geq n/2$, рассмотрим формальную процедуру построения подобных тестов для различных значений $\max_{x \neq y} \min HD(T_x, T_y)$. Основой указанной процедуры является следующее утверждение, которое сформулируем для случая тестовых наборов, состоящих из $n = 2^m$ бит.

Утверждение. Управляемый вероятностный тест, сформированный из 2^{2^r} , $r \in \{0, 1, 2, \dots, m\}$, тестовых наборов, представленных в $w = 2^{2^r}$ -м алфавите, в каждом разряде которых используются неповторяющиеся символы данного алфавита, обеспечивает $\max_{x \neq y} \min HD(T_x, T_y) \geq n/2^r$ для двоичного случая представления теста. Например, для $w = 2^{2^1} = 4$ -го алфавита имеем $\max_{x \neq y} \min HD(T_x, T_y) \geq$

$\geq n/2^1 = n/2$, что подтверждается ранее приведенными примерами (табл. 1, 2). Если предположить, что $w = 2^n = 2^{2^m}$, получим $\max_minHD(T_x, T_y) \geq n/2^w = 1$, а управляемый вероятностный тест будет состоять из $w = 2^n$ наборов. В случае двоичного алфавита ($w = 2^{2^0}$) $\max_minHD(T_x, T_y) \geq n/2^0 = n$ и соответствующий тест состоит только из двух наборов ($w = 2$).

В общем случае управляемый вероятностный тест, для которого $\max_minHD(T_x, T_y) \geq n/2^r$, будет состоять из 2^{2^r} , $r \in \{0, 1, 2, \dots, m\}$, тестовых наборов размерностью $n = 2^m$ бит. Процедура их построения состоит в формировании в каждом последовательных 2^r разрядах для всех наборов всевозможных символов 2^{2^r} -го алфавита в произвольном порядке. Результаты построения подобных тестов для $r = 1$ (четверичного алфавита) представлены в табл. 1, 2.

Предложенная процедура построения управляемых вероятностных тестов с заданным расстоянием Хэмминга $\max_minHD(T_x, T_y)$ легко обобщается для случая, когда рассматриваются последовательные не только 2^r разряды тестовых наборов, но и произвольное их количество $z \leq n$. Тогда аналогично ранее рассмотренному случаю управляемый вероятностный тест, состоящий из 2^z тестовых наборов, будет обеспечивать фиксированные значения расстояний Хэмминга, равные величинам, не менее чем $\lfloor n/z \rfloor$. Данный тест формируется по ранее описанной процедуре с использованием 2^z символов 2^z -го алфавита.

При рассмотрении трех последовательных разрядов тестовых наборов как символов, представленных в восьмеричном алфавите, при условии, что n кратно трем, управляемый вероятностный тест, состоящий из восьми тестовых наборов, обеспечивает фиксированные значения расстояния Хэмминга, величина которого будет не менее чем $n/3$. В табл. 3 приведены два варианта управляемого вероятностного теста для $n = 9$ с заданным $\max_minHD(T_x, T_y) \geq n/3 = 9/3 = 3$, построенные согласно рассмотренному методу.

Таблица 3. Управляемые вероятностные тесты, состоящие из восьми наборов
Table 3. Controlled random tests consisting of eight patterns

$000_{(8)} = 00000000_{(2)}$	$705_{(8)} = 111000101_{(2)}$
$111_{(8)} = 001001001_{(2)}$	$611_{(8)} = 110001001_{(2)}$
$222_{(8)} = 010010010_{(2)}$	$533_{(8)} = 101011011_{(2)}$
$333_{(8)} = 011011011_{(2)}$	$422_{(8)} = 100010010_{(2)}$
$444_{(8)} = 100100100_{(2)}$	$350_{(8)} = 011101000_{(2)}$
$555_{(8)} = 101101101_{(2)}$	$247_{(8)} = 010100111_{(2)}$
$666_{(8)} = 110110110_{(2)}$	$174_{(8)} = 001111100_{(2)}$
$777_{(8)} = 111111111_{(2)}$	$066_{(8)} = 000110110_{(2)}$

Как видно из табл. 3, расстояние Хэмминга в обоих случаях принимает фиксированные значения в диапазоне от 3 до 9.

Оценка эффективности тестов с заданным расстоянием Хэмминга

Управляемые вероятностные тесты находят широкое применение при тестировании вычислительных систем и их составных компонентов, таких как запоминающие устройства и в первую очередь оперативные запоминающие устройства (ОЗУ) [5–9]. Во всех случаях эффективность управляемых вероятностных тестов сравнивается с эффективностью вероятностных тестов, состоящих из такого же количества тестовых наборов. В случае запоминающих устройств применение вероятностных тестов, состоящих из p наборов, позволяет достичь полноты покрытия $FC_{Test}(Fault, p)$ их сложных неисправностей, оцениваемой выражением [5]:

$$FC_{Test}(Fault, p) = \left(1 - \left(1 - \frac{FC_{Test}(Fault)}{100\%} \right)^p \right) \cdot 100\%. \quad (5)$$

Значение $FC_{Test}(Fault)$ показывает процентное отношение количества обнаруженных сложных неисправностей при использовании одного вероятностного набора и заданной неразрушающей маршевой процедуры тестирования (Test), используемых для тестирования ОЗУ. В случае запоминающих устройств случайный тестовый набор применяется в качестве начального состояния его ячеек, а под сложными их неисправностями понимаются кодочувствительные неисправности и неисправности взаимного влияния [5].

С целью оценки эффективности предлагаемых управляемых вероятностных тестов был реализован следующий эксперимент. С использованием языка Object Pascal и среды разработки Delphi 7.0 спроектировали программное средство, в котором смоделировали ОЗУ с общим количеством ячеек памяти n .

Для реализации процедуры тестирования Test применялся классический неразрушающий маршевый тест Николаидиса под названием TMATS [5]. Данный тест состоит из двух фаз. Начальная фаза, предназначенная для вычисления эталонных значений сигнатуры SF, имеет вид $\{\uparrow(ra); \uparrow(r\bar{a})\}$. Вторая фаза, представляющая собой базовый тест, имеет вид $\{\uparrow(ra, w\bar{a}); \uparrow(r\bar{a})\}$ и предназначена для вычисления реальной сигнатуры при наличии неисправности в запоминающем устройстве. Для получения эталонной сигнатуры SF, соответствующей содержимому ОЗУ без внесенных неисправностей, перед выполнением базового теста запускается начальная фаза теста. Для обнаружения неисправностей результаты всех операций чтения второй фазы теста сжимаются с помощью сигнатурного анализатора в реальную сигнатуру SR. Далее сигнатуры сравниваются и их неравенство $SF \neq SR$ устанавливает обнаружение внесенной в ОЗУ неисправности. В противном случае, когда $SF = SR$, фиксируется факт необнаружения неисправности. В качестве анализатора состояния памяти использовался сигнатурный анализатор, описываемый порождающим полиномом $\varphi(x) = 1 + x + x^3 + x^{12} + x^{16}$.

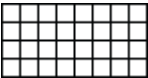

Эксперимент проводился с многократным применением вероятностного теста, состоящего из четырех наборов начальных состояний ОЗУ, сгенерированных случайным образом. Состояние каждой ячейки ОЗУ 0 либо 1 формировалось равновероятно и независимо от состояния других ячеек памяти. Подобный тест многократно повторялся, и для каждой его итерации оценивалось обнаружение либо необнаружение смоделированной неисправности ОЗУ. В качестве вносимых сложных неисправностей ОЗУ на каждой итерации эксперимента случайным образом выбиралась одна из восьми неисправностей взаимного влияния прямого действия (Idempotent Coupling Faults (CFid)) – $\wedge\langle\uparrow, 0\rangle, \wedge\langle\uparrow, 1\rangle, \wedge\langle\downarrow, 0\rangle, \wedge\langle\downarrow, 1\rangle, \vee\langle\uparrow, 0\rangle, \vee\langle\uparrow, 1\rangle, \vee\langle\downarrow, 0\rangle, \vee\langle\downarrow, 1\rangle$ – и определялся адрес ячейки агрессора (Aggressor Cell) и ячейки жертвы (Victim Cell) [5].

Далее выполнялся запуск процедуры тестирования Test (TMATS). Первоначально проводилось тестирование на первом случайном состоянии ячеек ОЗУ, т. е. первом тестовом наборе вероятностного теста. В случае несовпадения сигнатур, реальной и эталонной, фиксировался факт обнаружения неисправности и выполнялся переход к следующей итерации вероятностного теста. При совпадении сигнатур осуществлялся переход к тестированию на втором тестовом наборе вероятностного теста текущей итерации. В случае совпадения сигнатур для второго набора проводилось тестирование на третьем наборе. Таким образом, устанавливался факт обнаружения либо необнаружения внесенной неисправности взаимного влияния для каждой итерации вероятностного теста. По окончании всех заданных итераций вероятностного теста вычислялась процентная полнота покрытия $FC_{Test}(Fault, 4)$ неисправностей взаимного влияния.



Аналогичным образом последовательно выполнялось тестирование и на фиксированных начальных состояниях, соответствующих управляемым вероятностным тестам с заданным расстоянием Хэмминга. Применялись тесты, состоящие из четырех тестовых наборов, обеспечивающих $\max_minHD(T_x, T_y) \geq n/2$. Пример подобного управляемого вероятностного теста T графически представлен в табл. 4 для ОЗУ, состоящего из матрицы 4Ч8 запоминающих ячеек ($n = 32$), обеспечивающего $\max_minHD(T_x, T_y) \geq 16$.

Таблица 4. Управляемый вероятностный тест для оперативного запоминающего устройства, состоящий из четырех наборов

Table 4. A controlled probabilistic test for random access memory consisting of four sets

T	ОЗУ	SF
T_1		0000111100100000
T_2		1111010011100111

Окончание табл. 4
Ending of Tab. 4

T	ОЗУ	SF
T_3		0101100110011101
T_4		1010001001011010

Как видно из табл. 4, тест состоит из четырех тестовых наборов, для каждого из которых приведено эталонное значение сигнатуры SF. Результаты экспериментальных исследований для различного количества итераций (100, 1000, 10000, – для вероятностных тестов (Set 1) и управляемых вероятностных тестов (Set 2)) приведены на рис. 1.

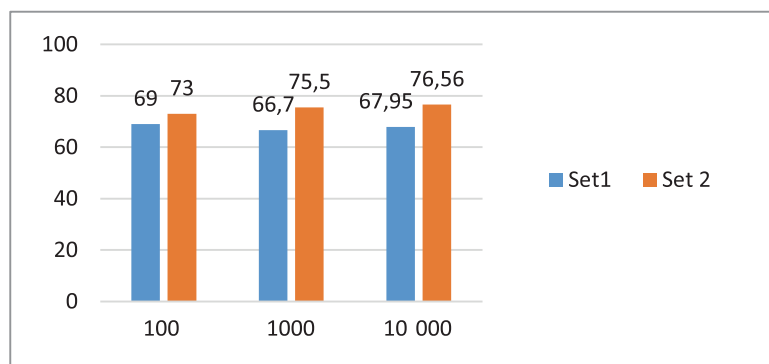


Рис. 1. Полнота покрытия неисправностей оперативного запоминающего устройства
Fig. 1. Complete coverage of operational memory device faults

На рис. 1 показаны экспериментальные данные о полноте покрытия $FC_{Test}(Fault, 4)$ для случая неисправностей взаимного влияния ОЗУ. Как видно из приведенных значений, в случае управляемых вероятностных тестов полнота покрытия заметно выше полноты покрытия таких же неисправностей вероятностными тестами.

Заключение

1. Представлен метод построения управляемых вероятностных тестов с заданным расстоянием Хэмминга. В отличие от вероятностных тестов, предложенная процедура формирования тестовых наборов управляемых вероятностных тестов характеризуется невысокой вычислительной сложностью, определяемой сложностью генерирования всех символов рассматриваемого алфавита в произвольном порядке.

2. В простейшем случае построение тестовых наборов заключается в последовательном переборе всего алфавита используемой системы счисления. На примере оперативного запоминающего устройства показана эффективность управляемых вероятностных тестов с заданным расстоянием Хэмминга по сравнению с вероятностными тестами.

3. Дальнейшие исследования целесообразно расширить в части свойств предложенного метода и его использования для различных задач тестового диагностирования вычислительных систем и их компонентов. Наиболее интересным представляется применение метода формирования управляемых вероятностных тестов для тестирования программного обеспечения.

Список литературы

1. Renfer, G. F. Automatic Program Testing / G. F. Renfer // Proceedings of 3rd Conference of the Computing and Data Processing Society of Canada. Canada: University of Toronto Press, 1962.
2. Duran, J. An Evaluation of Random Testing / J. Duran, S. Ntafos // IEEE Transactions on Software Engineering. 1984. Vol. SE-10, No 4. P. 438–444.
3. Arcuri, A. Random Testing: Theoretical Results and Practical Implications / A. Arcuri, M. Z. Iqbal, L. Briand // IEEE Transactions on Software Engineering. 2011. Vol. 38, No 2. P. 258–277.

4. Malaiya, Y. K. The Coverage Problem for Random Testing / Y. K. Malaiya, S. Yang // Proceedings of ITC. USA, 1984. P. 237–245.
5. Ярмолик, В. Н. Контроль и диагностика вычислительных систем / В. Н. Ярмолик. Минск: Бестпринт, 2019.
6. An Orchestrated Survey on Automated Software Test Case Generation / S. Anand [et al.] // Journal of Systems and Software. Elsevier. 2014. Vol. C-39, No 4. P. 582–586.
7. Grindal, M. Combination Testing Strategies / M. Grindal, J. Offutt, S. F. Andler // GMU Technical Report ISE-TR-04-05. USA: George Mason University, 2004.
8. Malaiya, Y. K. Antirandom Testing: Getting the Most Out of Black-Box Testing / Y. K. Malaiya // International Symposium on Software Reliability Engineering. France: Toulouse, 1995. P. 86–95.
9. A Survey on Adaptive Random Testing / R. Huang [et al.] // IEEE Transactions on Software Engineering. 2021. Vol. 47, No 10. P. 2052–2083.
10. Ярмолик, С. В. Управляемое случайное тестирование / С. В. Ярмолик, В. Н. Ярмолик // Информатика. 2011. Т. 29, № 1. С. 79–88.
11. Peterson, W. W. Error-Correction Codes / W. W. Peterson, E. J. Weldon. London: The MIT Press, 1972.
12. Ярмолик, С. В. Синтез вероятностных тестов с малым числом наборов / С. В. Ярмолик, В. Н. Ярмолик // Автоматика и вычислительная техника. 2011. Т. 45, № 3. С. 19–30.
13. Yarmolik, S. V. Controlled Random Tests / S. V. Yarmolik, V. N. Yarmolik // Automation and Remote Control. Springer. 2012. Vol. 73, No 10. P. 1704–1714.
14. Садовский, М. Г. О сравнении символьных последовательностей / М. Г. Садовский // Вычислительные технологии. 2005. Т. 10, № 3. С. 106–116.
15. Ярмолик, В. Н. Модификации способов определения расстояния Хэмминга для их применения в качестве мер различия при генерировании управляемых вероятностных тестов / В. Н. Ярмолик, В. В. Петровская, Н. А. Шевченко // Информатика. 2024. Т. 21, № 2. С. 54–72.

References

1. Renfer G. F. (1962) Automatic Program Testing. *Proceedings of 3rd Conference of the Computing and Data Processing Society of Canada*. Canada, University of Toronto Press.
2. Duran J., Ntafos S. (1984) An Evaluation of Random Testing. *IEEE Transactions on Software Engineering*. SE-10 (4), 438–444.
3. Arcuri A., Iqbal M. Z., Briand L. (2011) Random Testing: Theoretical Results and Practical Implications. *IEEE Transactions on Software Engineering*. 38 (2), 258–277.
4. Malaiya Y., Yang S. (1984) The Coverage Problem for Random Testing. *Proceedings of ITC*, USA. 237–242.
5. Yarmolik V. N. (2019) *Control and Diagnostics of Computing Systems*. Minsk, Bestprint Publ. (in Russian).
6. Anand S., Burke E., Chen T., Clark J., Cohen M., Grieskamp W., et al. (2014) An Orchestrated Survey on Automated Software Test Case Generation. *Journal of Systems and Software. Elsevier*. C-39 (4), 582–586.
7. Grindal M., Offutt J., Andler S. F. (2004) Combination Testing Strategies. *GMU Technical Report ISE-TR-04-05*. USA, George Mason University.
8. Malaiya Y. K. (1995) Antirandom Testing: Getting the Most Out of Black-Box Testing. *International Symposium on Software Reliability Engineering*. France, Toulouse. 86–95.
9. Huang R., Sun W., Xu Y., Chen H., Towey D., Xia X. (2021) A Survey on Adaptive Random Testing. *IEEE Transactions on Software Engineering*. 47 (10), 2052–2083.
10. Yarmolik S. V., Yarmolik V. N. (2011) Controlled Random Testing. *Informatika*. 29 (1), 79–88 (in Russian).
11. Peterson W. W., Weldon E. J. (1972) *Error-Correction Codes*. Cambridge. London, The MIT Press.
12. Yarmolik S. V., Yarmolik V. N. (2011) Synthesis of Probabilistic Tests with a Small Number of Sets. *Automatic Control and Computer Sciences*. 45 (3), 19–30 (in Russian).
13. Yarmolik S. V., Yarmolik V. N. (2012) Controlled Random Tests. *Journal of Automation and Remote Control. Springer*. 73 (10), 1704–1714.
14. Sadovsky M. G. (2005) Compare Symbol Sequences. *Journal of Computational Technologies*. 10 (3), 106–116 (in Russian).
15. Yarmolik V. N., Petrovskaya V. V., Shevchenko N. A. (2024) Modifications to Hamming Distance Calculations for Use as Dissimilarity Measures to Generate Controlled Random Test. *Informatika*. 21 (2), 54–72 (in Russian).

Вклад авторов

Ярмолик В. Н. предложил идею построения управляемых вероятностных тестов с заданным значением расстояния Хэмминга.

Деменковец Д. В. участвовал в постановке и реализации эксперимента, обсуждении полученных результатов и оформлении рукописи статьи.

Леванцевич В. А., Петровская В. В. участвовали в постановке эксперимента, обсуждении полученных результатов и оформлении рукописи статьи.

Authors' contribution

Yarmolik V. N. proposed the idea of constructing controlled probabilistic tests with a given value of the Hamming distance.

Demenkovets D. V. participated in setting up and implementation of the experiment, discussing the results obtained, and preparing the manuscript.

Levantsevich V. A., Petrovskaya V. V. participated in setting up the experiment, discussing the results obtained, and preparing the manuscript.

Сведения об авторах

Ярмолик В. Н., д-р техн. наук, проф., проф. каф. программного обеспечения информационных технологий, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (БГУИР)

Деменковец Д. В., магистр техн. наук, ст. преп. каф. программного обеспечения информационных технологий, БГУИР

Леванцевич В. А., магистр техн. наук, ст. преп. каф. программного обеспечения информационных технологий, БГУИР

Петровская В. В., магистр техн. наук, асс. каф. программного обеспечения информационных технологий, БГУИР

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. П. Бровки, 6
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
Тел.: +375 44 700-88-96
E-mail: demenkovets@bsuir.by
Деменковец Денис Викторович

Information about the authors

Yarmolik V. N., Dr. of Sci. (Tech.), Professor, Professor at the Department of Software for Information Technologies, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (BSUIR)

Demenkovets D. V., M. of Sci., Senior Lecture at the Department of Software for Information Technologies, BSUIR

Levantsevich V. A., M. of Sci., Senior Lecture at the Department of Software for Information Technologies, BSUIR

Petrovskaya V. V., M. of Sci., Assistant Professor at the Department of Software for Information Technologies, BSUIR

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,
Minsk, Brovki St., 6
Belarusian State University
of Informatics and Radioelectronics
Tel.: +375 44 700-88-96
E-mail: demenkovets@bsuir.by
Demenkovets Denis Victorovich



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-4-73-76>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 004.91

Краткое сообщение

ВЛИЯНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ОБРАЗОВАНИЕ

С. А. МИГАЛЕВИЧ, О. В. ГЕРМАН, С. Х. ХАБИБОВ

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

Поступила в редакцию 27.03.2024

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2024
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2024

Аннотация. Рассмотрены влияние современных информационно-коммуникационных технологий на образование и требования к учебным программам с точки зрения их внедрения. Приведены примеры лучших практик применения информационно-коммуникационных технологий в образовании, таких как программы «Имитационные учебные среды» и «Виртуальный преподаватель».

Ключевые слова: информационные технологии, высшее образование, управление, обучение, знания.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Мигалевич, С. А. Влияние современных информационно-коммуникационных технологий на образование / С. А. Мигалевич, О. В. Герман, С. Х. Хабибов // Цифровая трансформация. 2024. Т. 30, № 4. С. 73–76. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-4-73-76>.

THE IMPACT OF MODERN INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES ON EDUCATION

SERGEY A. MIGALEVICH, OLEG V. GERMAN, SOMRON H. HABIBOV

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

Submitted 27.03.2024

Abstract. The influence of modern information and communication technologies on education and requirements for educational programs from the point of view of their implementation are considered. Examples of best practices in the use of information and communication technologies in education, such as the programs “Simulation learning environments” and “Virtual teacher” are given.

Keywords: information technologies, higher education, management, learning, knowledge.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

For citation. Migalevich S. A., German O. V., Habibov S. H. (2024) The Impact of Modern Information and Communication Technologies on Education. *Digital Transformation*. 30 (4), 73–76. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-4-73-76> (in Russian).

Введение

Информационно-коммуникационные технологии (ИКТ) в образовании приобретают все большее значение. За последние двадцать пять лет использование ИКТ коренным образом изменило процессы и процедуры почти во всех областях деятельности в бизнесе и управлении. Использование ИКТ в образовании приводит к тому, что обучение в большей степени сосредоточено на студентах. В статье рассмотрены ИКТ как средства обеспечения качества образования и исследованы потенциальные разработки.

Результаты исследований и их обсуждение

Существует ряд факторов, препятствующих массовому внедрению ИКТ в образование во всех секторах, таких как финансовые ограничения, отсутствие квалифицированных специалистов и проблемы с доступностью технологий. Недостаток средств затрудняет закупку необходимого оборудования и обучение педагогических кадров, а отсутствие опыта работы с новыми технологиями ограничивает возможности внедрения ИКТ. Кроме того, проблемы с доступом к интернету и компьютерной инфраструктуре создают неравенство в доступе к образованию. Однако преодоление этих преград через обеспечение финансирования, подготовку педагогических кадров и улучшение доступности технологий может раскрыть огромный потенциал ИКТ для улучшения качества образования и расширения доступа к знаниям.

Новые технологии влияют на содержание образовательных программ с учетом того, как они доминируют в социуме. Использование ИКТ в повседневной жизни привело к расширению набора общих навыков, включая информационную грамотность. Обучающиеся начинают ценить возможность получать образование где угодно, в любое время и в любом месте. Такая гибкость повысила доступность обучения «точно в срок» и предоставила возможности для обучения гораздо большему числу учащихся, которые ранее были ограничены другими обязательствами. Учебные заведения предлагают дистанционные программы, и это стало предметом большого количества исследований и разработок по созданию эффективных практик и процедур преподавания и обучения за пределами школы, кампуса. И если раньше обучение за пределами кампуса было вариантом для студентов, которые не могли посещать его, то сегодня многие из них могут выбрать этот вариант благодаря технологически облегченным условиям обучения.

В условиях перехода к информационному обществу меняются требования, предъявляемые к системе образования. Так, будет меньше необходимости в формальном образовании, обеспечивающем фиксированный набор знаний, и гораздо больше внимания будет уделяться развитию метакогнитивных навыков, таких как оценка, анализ, решение проблем и умение учиться. Ожидается, что школы перейдут к проектному обучению, при этом учащиеся станут брать на себя большую ответственность за собственное обучение. ИКТ будут выступать в качестве проводника перемен, стимулируя необходимые изменения.

Профессиональное развитие должно быть сосредоточено на педагогике и подходах, а не только на технических навыках, поскольку изменение подходов может быть долгосрочным процессом для многих учителей. Конечно, можно рассматривать ИКТ как разовую инновацию, внедряемую раз и навсегда, но процесс изменения источника креативного образовательного мышления и поддержания креативных образовательных практик часто требует непрерывного цикла инноваций. Переход к учебным планам, основанным на компетентности и результатах деятельности, как правило, требует:

- среды обучения, ориентированной на учащихся, основанной на доступе к информации и ее изучении;
- условий обучения, ориентированных на деятельность, решение проблем и поиск информации;
- доступа к широкому спектру источников и форматов информации.

ИКТ способны продвигать и поощрять трансформацию образования, ориентированного на учителя, в образование, поддерживающее модели, в большей степени ориентированные на обучающихся. Расширяется практика создания онлайн-курсов, включающих такие сложные предметы, как искусственный интеллект, информатика и теория игр. Этот тип обучения может

обеспечиваться с помощью сетевых технологий – веб-обучение, электронное и виртуальное обучение, имитационные исследования и т. д.

Современные технологии вызывают изменения как в психологическом, так и в социальном аспектах. В сфере образования имитационное обучение может стать реалистичной и гибкой альтернативой традиционному обучению, снижая нагрузку на образовательные учреждения. Программа «Имитационные учебные среды» предназначена для повышения потенциала систем обучения путем использования методов имитационного обучения в преподавании и обучении.

Анализ показывает, что для улучшения качества образования путем широкого использования ИКТ существуют опасения относительно эффективности их использования. Образовательные преимущества ИКТ во многом зависят от того, как они применяются. Там, где ИКТ поддерживают подход, ориентированный на учащихся, это будет способствовать развитию аналитических навыков и навыков работы с информацией, которые не всегда могут быть отражены в учебной программе или системе оценки при традиционном подходе.

В настоящее время большое внимание уделяется применению системного анализа для организации и управления задачами преподавания и обучения, а также поиску альтернативных стратегий и систем для улучшения образования. Преподавание должно быть как можно более эффективным с тем, чтобы преподаваемый материал тщательно изучался и усваивался учащимися. Хорошее преподавание всегда стремится к эффективной коммуникации и значимым результатам обучения. Учебные заведения используют ИКТ для содействия прогрессу в достижении образовательных целей.

Опыт практической разработки

Одним из активно развиваемых направлений систем электронного обучения является технология интерактивных обучающих систем с «Виртуальным преподавателем», опыт и аспекты разработки которой представлены в [1, 2]. «Виртуальный преподаватель» – многоуровневая программа, выполняющая следующие функции:

- а) сканирование состояния учащегося (активен, правильно отвечает на вопросы, отвлекается, не понимает материал и др.);
- б) контроль (оценивание) процесса обучения и усвоения знаний;
- в) объяснение и анализ вопросов учащегося;
- г) планирование занятий.

Программа выполняет пункт (а) путем наблюдения и статистической обработки информации о процессе изучения материала, ответа на контрольные вопросы, затрачиваемого времени, частоты возвратов к ранее рассмотренным темам, характера перемещений по изучаемому тексту, частоты обращения за помощью. Аналитическая обработка этой информации выполняется на основе статистических критериев. Реализация пункта (б) основана на выполнении тестовых заданий и контрольных опросников. Система периодически задает вопросы учащемуся и оценивает как точность ответов, так и затрачиваемое время. Система объясняет по запросу учащегося сложные или неясные места, давая пояснительные примеры. Планирование занятий связано с необходимостью перестройки учебного материала под специфику обучающегося (требует больше контроля, пояснений и примеров). «Виртуальный преподаватель» реализован как результат научно-практического исследования и может получить развитие в перспективе.

Заключение

1. Рассмотрены ключевые аспекты применения информационно-коммуникационных технологий как одного из средств повышения качества образования, их влияние на преподавание и обучение на всех уровнях.

2. Использование информационно-коммуникационных технологий в образовании должно быть направлено, прежде всего, на раскрытие потенциала самого обучающегося, а также на создание для этого необходимых условий.

Список литературы

1. Гурин, Н. И. Технология разработки компьютерных обучающих систем с функциями виртуального преподавателя / Н. И. Гурин, О. В. Герман, Ю. О. Герман // Труды Белорусского государственного технологического университета. 2011. № 6. С. 146–149.
2. Гурин, Н. И. Интеллектуальный анализатор запросов к базе знаний мультимедийного электронного учебника / Н. И. Гурин, О. В. Герман // Труды Белорусского государственного технологического университета. 2010. № 6. С. 167–170.

References

1. Gourin N. I., German O. V., German J. O. (2011) Technology for Developing Computer-Based Learning Systems with Virtual Teacher Functions. *Proceedings of the Belarusian State Technological University*. (6), 146–149 (in Russian).
2. Gourin N. I., German O. V. (2010) Intelligent Analyzer of Queries to the Knowledge Base of a Multimedia Electronic Textbook. *Proceedings of the Belarusian State Technological University*. (6), 167–170 (in Russian).

Вклад авторов / Authors' contribution

Авторы внесли равный вклад в написание статьи / The authors contributed equally to the writing of the article.

Сведения об авторах

Мигалевич С. А., асп., магистр техн. наук, нач. центра информатизации и инновационных разработок, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (БГУИР)

Герман О. В., канд. техн. наук, доц. каф. информационных технологий автоматизированных систем, БГУИР

Хабиров С. Х., магистр, каф. информатики, БГУИР

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. Платонова, 39
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
Тел.: +375 17 293-23-20
E-mail: migalevich@bsuir.by
Мигалевич Сергей Александрович

Information about the authors

Migalevich S. A., Postgraduate, M. of Sci., Head of the Center for Informatization and Innovative Developments, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (BSUIR)

German O. V., Cand. of Sci., Associate Professor at the Department of Information Technologies in Automated Systems, BSUIR

Habibov S. H., M. of Sci., Department of Computer Science, BSUIR

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,
Minsk, Platonova St., 39
Belarusian State University
of Informatics and Radioelectronics
Tel.: +375 17 293-23-20
E-mail: migalevich@bsuir.by
Migalevich Sergey Aleksandrovich

КОНФЕРЕНЦИИ НА 2025 ГОД

BIG DATA AND ADVANCED ANALYTICS

XI Международная научно-практическая конференция

март 2025 | Минск, Беларусь



Тематика

- использование BIG DATA, Advanced Analytics, Data Science для оптимизации IT-решений, производственных и бизнес-решений
- BIG DATA and Advanced Analytics в медицине и образовании

информатика, компьютерная техника, образование, экономика

ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕДАЧИ И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

Международный научно-технический семинар

март – апрель 2025 | Минск, Беларусь



Тематика

- теория кодирования
- цифровая обработка и передача сигналов и изображений
- защита инфокоммуникационных систем и сетей
- элементная база кодирования и цифровой обработки сигналов

информатика, компьютерная техника, образование, экономика

ОТКРЫТЫЕ СЕМАНТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Международная научно-техническая конференция



апрель 2025 | Минск, Беларусь

Тематика

Применение семантических технологий в области ИИ:

- гибридные интеллектуальные компьютерные системы
- интеллектуальные человеко-машинные системы
- компьютерное зрение и интеллектуальная автоматизация
- семантические и нейронные сети

информатика, компьютерная техника, образование, экономика

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

XXIII Международная научно-техническая конференция



апрель – июнь 2025 | Минск, Беларусь

Тематика

- техническая и криптографическая защита информации
- элементная база средств защиты информации
- нормативно-правовое регулирование и подготовка специалистов

технические науки

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

VI Международная научно-практическая конференция



май – июнь 2025 | Минск, Беларусь

Тематика

- цифровизация системы профессионального образования
- информационно-образовательные ресурсы для повышения качества образования
- психолого-педагогические аспекты учебного процесса
- интеграция рынка труда и системы образования

экономические науки, образование

МОНИТОРИНГ ТЕХНОГЕННЫХ И ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

VI Международная научно-техническая конференция



сентябрь – октябрь 2025 | Минск, Беларусь

Тематика

- инструменты и технологии мониторинга
- методы мониторинга и прогнозирования состояния природных, социальных и технических объектов с целью предупреждения чрезвычайных ситуаций

экономические науки

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ

XV Международная научная конференция



ноябрь – декабрь 2025 | Минск, Беларусь

Тематика

- интеллектуальные ИТ, системы управления
- автоматизированные системы обработки информации
- проектирование встраиваемых систем
- математическое моделирование и компьютерная графика
- технологии цифровой экономики

информатика, компьютерная техника, образование, экономика

НЕПРЕРЫВНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ ЛИЦ С ОСОБЫМИ ПОТРЕБНОСТЯМИ

VI Международная научно-практическая конференция



декабрь 2025 | Минск, Беларусь

Тематика

- Digital skills и soft skills лиц с особыми потребностями в условиях цифровой трансформации
- формирование инклюзивной среды в учреждении образования
- использование ИКТ для развития инклюзивного образования

экономические науки, образование

