

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ

Том 31, № 2, 2025

Научный журнал издается с 1995 года

Учредитель

Учреждение образования «Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Журнал включен в базы данных:

DOAJ, Google Scholar, Mendeley, Open Alex, РИНЦ

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ, ОБРАЗОВАНИЕ

- Батура М. П., Марахина И. В., Пархименко В. А.** Методические основы качественного и количественного анализа работы IT-компаний в социальных сетях 5
- Козинец А. Н.** Применение методов глубокого обучения для анализа удовлетворенности сотрудников на основе текстовых данных..... 13
- Калиновская И. Н.** Применение больших языковых моделей для анализа профессиональных компетенций на региональном рынке труда Республики Беларусь 21
- Гулина О. В.** Искусственный интеллект в подготовке специалистов экономического профиля..... 32
- Беляев В. В., Грань Т. Н., Зорина А. А., Костякова В. Г., Шевчук М. В., Миняйлов В. В., Чертополохов В. А.** Нанотехнология и дополненная реальность как основы виртуализации образовательного материала при обучении..... 41
- Якубук Ю. П.** Создание Единой транспортно-логистической платформы как фактор цифровизации транспортной сферы Республики Беларусь..... 52

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Пискун Е. С., Максимчук У. М.** Цифровая доступность образовательного информационного контента с учетом стандарта Web Content Accessibility Guidelines 59
- Безуглая В. А., Куган С. Ф.** Блокчейн как инструмент трансформации процесса оценки объектов интеллектуальной собственности 69
- Косарева Е. М., Лихачевский Д. В., Казак Т. В., Тиунчик Д. Р.** Применение систем «умный город» в мониторинге и управлении общественной безопасностью 77

Главный редактор Вадим Анатольевич Богуш,
д. ф.-м. н., профессор, ректор Белорусского государственного университета
информатики и радиоэлектроники (Минск, Республика Беларусь)

Редакционная коллегия

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.-корр. 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

Издание перерегистрировано в Министерстве информации Республики Беларусь 10 июня 2022 г.
Регистрационный номер 662

Подписано в печать 26.05.2025. Формат бумаги 60×84%. Бумага офисная. Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 10,23. Уч.-изд. л. 7,4. Тираж 55 экз. Заказ 90.

Адрес редакции: 220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6
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

© УО «Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»,
оригинал-макет, оформление, 2025

DIGITAL TRANSFORMATION

V. 31, No 2, 2025

The scientific journal is being published since 1995

Founder

Educational Establishment “Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics”

The Journal is included in the following databases:
DOAJ, Google Scholar, Mendeley, Open Alex, RISC

CONTENTS

ECONOMIC SCIENCES, EDUCATION

Batura M. P., Marakhina I. V., Parkhimenko U. A. Methodological Foundations of Qualitative and Quantitative Analysis of IT Companies' Work in Social Networks	5
Kazinets A. N. Application of Deep Learning Methods for Employee Satisfaction Analysis Based on Text Data	13
Kalinouskaya I. N. The Use of Large Language Models for the Analysis of Professional Competencies in the Regional Labor Market of the Republic of Belarus	21
Gulina O. V. Artificial Intelligence in the Training of Economic Specialists	32
Belyaev V. V., Gran T. N., Zorina A. A., Kostyakova V. G., Shevchuk M. V., Minyailov V. V., Chertopolokhov V. A. Nanotechnology and Augmented Reality as the Basis for Virtualization of Educational Material in Training	41
Yakubuk Yu. P. Creation of a Unified Transport and Logistics Platform as a Factor of Digitalization of the Transport Sector of the Republic of Belarus.....	52

TECHNICAL SCIENCES

Piskun E. S., Maksimchuk U. M. Digital Accessibility of Educational Information Content Taking into Account the Web Content Accessibility Guidelines	59
Bezuglaya V. A., Kugan S. F. Blockchain as a Tool for Transforming the Process of Assessing Intellectual Property Objects.....	69
Kosareva E. M., Likhachevsky D. V., Kazak T. V., Tiunchik D. R. Application of Smart City Systems in Public Safety Monitoring and Management.....	77

Editor-in-Chief Vadim A. Bogush, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Professor,
Rector of the Belarusian State University of Informatics
and Radioelectronics (Minsk, Republic of Belarus)

Editorial Board

Nikolai I. Listopad, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus – Deputy Chief Editor
Tatiana N. Belyatskaya, Dr. Sci. (Econ.), Professor, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus – Deputy Chief Editor
Natalia A. Pevneva, Cand. Sci., (Tech.), Associate Professor, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus – Executive Secretary of the Editorial Board
Vasily G. Safonov, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Professor, Institute of Mathematics of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus
Valery F. Baynev, Dr. Sci. (Econ.), Cand. Sci. (Tech.), Professor, Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus
Mikhail M. Kovalev, Honored Scientist the Republic of Belarus, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Professor, Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus
Alexander N. Kurbatski, Honored Scientist of the Republic of Belarus, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus
Gennady A. Khatskevich, Dr. Sci. (Econ.), Professor, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus
Vladimir V. Golenkov, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus
Aleksei A. Bykov, Dr. Sci. (Econ.), Professor, Belarus State Economic University, Minsk, Republic of Belarus
Alexander A. Sirota, Corresponding Member of International Informatization Academy, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation
Georgiy G. Malinetskiy, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Professor, Keldysh Institute of Applied Mathematics of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation
Vladimir V. Glukhov, Dr. Sci. (Econ.), Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russian Federation
Vladimir A. Plotnikov, Dr. Sci. (Econ.), Professor, Saint Petersburg State University of Economics, Saint Petersburg, Russian Federation
Vagif A. Gasimov, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Baku Engineering University, Khirdalan, Republic of Azerbaijan

Responsible Secretary T. Mironenka

Publication is re-registered in the Ministry of Information of the Republic of Belarus in 2022, June, 10th
Reg. No 662

Signed for printing 26.05.2025. Format 60×84 1/8. Office paper. Printed on a risograph. Type face Times.
Ed.-pr. I. 10,23. Ed.-ed. I. 7,4. Edition 55 copies. Order 90.

ADDRESS

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics
6, P. Brovki St., 220013, Minsk
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.
6, P. Brovki St., 220013, Minsk



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-2-5-12>

УДК 316.472

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КАЧЕСТВЕННОГО И КОЛИЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА РАБОТЫ ИТ-КОМПАНИЙ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ

М. П. БАТУРА, И. В. МАРАХИНА, В. А. ПАРХИМЕНКО

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

Аннотация. Рассмотрены методические основы качественного и количественного анализа SMM-деятельности компаний ИТ-сектора. Сформулированы цели и задачи такого анализа, выделены показатели активности компании в социальных сетях. Проведено последовательное сравнение уникальности постов Facebook с X, LinkedIn с X и Facebook, а также сгруппированы посты компаний в соцсетях по категориям в зависимости от основной темы. Наряду с темами предложено оценивать и другие характеристики постов, позволяющие исследовать широту инструментария SMM: особенности постов, стиль, цветовое оформление, хештеги, ссылки. Вовлеченность подписчиков компании и пользователей социальной сети предлагается оценивать через число лайков, а также через сумму количества репостов и комментариев каждого поста. Для систематизации итоговых результатов исследований создана форма для анализа работы компаний в социальных сетях.

Ключевые слова: исследование, методика, социальная сеть, SMM, маркетинг, платформа, ИТ, LinkedIn, X, Facebook, пост, подписчики.

Для цитирования. Батура, М. П. Методические основы качественного и количественного анализа работы ИТ-компаний в социальных сетях / М. П. Батура, И. В. Марахина, В. А. Пархименко // Цифровая трансформация. 2025. Т. 31, № 2. С. 5–12. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-2-5-12>.

METHODOLOGICAL FOUNDATIONS OF QUALITATIVE AND QUANTITATIVE ANALYSIS OF IT COMPANIES' WORK IN SOCIAL NETWORKS

MIHAIL P. BATURA, INA V. MARAKHINA, ULADZIMIR A. PARKHIMENKO

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

Abstract. The article considers the methodological principles of qualitative and quantitative analysis of SMM activities of IT companies. The goals and objectives of such analysis are formulated, and the company's activity indicators in social networks are highlighted. A consistent comparison of the uniqueness of Facebook posts with X, LinkedIn with X and Facebook is carried out, and company posts in social networks are grouped into categories depending on the main topic. Along with topics, it is proposed to evaluate other characteristics of posts that allow exploring the breadth of SMM tools: post features, style, color scheme, hashtags, links. It is proposed to evaluate the involvement of the subscribers of the company and social network users through the number of likes, as well as through the total number of reposts and comments for each post. To systematize the final results of the research, a form for analyzing the work of companies in social networks was created.

Keywords: research, methodology, social network, SMM, marketing, platform, IT, LinkedIn, X, Facebook, post, subscribers.

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

For citation. Batura M. P., Marakhina I. V., Parkhimenko U. A. (2025) Methodological Foundations of Qualitative and Quantitative Analysis of IT Companies' Work in Social Networks. *Digital Transformation*. 31 (2), 5–12. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-2-5-12> (in Russian).

Введение

В современном мире значимость информационных технологий (ИТ) растет, что определяется их ролью в оптимизации и автоматизации процессов, создании новых возможностей для роста и инновационной деятельности, разработкой и внедрением современных технологий в различные сферы жизни. Одной из важных функций ИТ-сферы является автоматизация процессов, позволяющая значительно сократить затраты и повысить их эффективность. Использование облачных технологий, больших данных и искусственного интеллекта трансформирует подходы к управлению бизнесом и взаимодействию с клиентами. Это не только улучшает качество услуг, но и создает новые бизнес-модели, которые меняют традиционные отрасли. В цифровой экономике ИТ-сфера приобретает все большее значение, в том числе как производитель цифровых продуктов. Кроме того, ИТ-компании играют важную роль в создании рабочих мест и повышении квалификации работников. ИТ-сектор становится центром притяжения талантов, что, в конечном итоге, способствует экономическому росту и инновационному развитию общества в целом.

Согласно прогнозу Gartner, ожидается, что мировые расходы на ИТ в 2024 г. составят 5,26 трлн долл. США, что на 7,5 % больше, чем в 2023-м¹. Своим ростом отрасль обязана двум основным движущим факторам²:

- расширению общего проникновения ИТ-технологий в бизнес-процессы организаций, в механизмы государственного управления и повседневную жизнь людей;

- тенденции к передаче сторонним специализированным организациям части внутренних функций, связанных с использованием ИТ и ИТ-инфраструктуры (так называемый ИТ-аутсорсинг). Этому способствует высокая эффективность ИТ-технологий в оптимизации функционирования делового, частного и государственного секторов – значительно сокращается время на проведение деловых операций, получение информации, повышаются производительность использования ресурсов и показатели качества. Популярность передачи сторонним организациям части внутренних функций, связанных с использованием ИТ и ИТ-инфраструктуры, вызвана дефицитом квалифицированных кадров на рынке, стремлением организаций сократить затраты и сконцентрироваться на основных направлениях деятельности.

В то же время следует отметить достаточно жесткую конкуренцию на рынке ИТ, трудности с поиском новых клиентов, особенно на глобальном рынке, значимость лояльности потребителей. Одним из важных и набирающих популярность маркетинговых инструментов, которые могут быть эффективно использованы ИТ-компаниями, является продвижение в социальных сетях. Они позволяют эффективно работать на территории пользователя и формировать требуемый образ компании. При правильном подходе соцсети определяют быстрое и дешевое достижение поставленных целей. Сейчас страницы в социальных медиа просто не могут не рассматриваться как необходимый атрибут маркетинга ИТ-компаний. Научная и практическая проблема заключается в максимизации эффективности работы с социальными сетями, позволяющей перевести необходимые издержки в положительный фактор роста компании, который согласовывается с метриками ИТ-компаний [1]. Одно из важных направлений для решения задачи – проведение анализа ИТ-организаций, позволяющего выявить возможности и перспективы их работы в социальных сетях. И первый шаг – разработка методических основ для такого исследования, которые рассмотрены в данной статье.

Обзор исследований, связанных с анализом работы компаний в социальных сетях

Анализ научных работ, в том числе [2], показывает рост числа исследований, посвященных изучению социальных сетей, которые активно изучаются в психологии, социологии, антропологии, политологии [3]. Исследования соцсетей в направлении бизнеса и менеджмента связаны в первую очередь с управлением рисками, проектами, цепочками поставок, туризмом, технологиями и инновациями, знаниями [2].

Следует отметить, что зачастую в исследованиях рассматриваются вопросы использования сотрудниками своих социальных сетей, определения эффективности такой деятельности.

¹ Gartner Forecasts Worldwide IT Spending to Grow 7.5 % in 2024 [Electronic Resource] // Gartner. Mode of access: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2024-07-16-gartner-forecasts-worldwide-it-spending-to-grow-7-point-5-percent-in-2024>. Date of access: 01.10.2024.

² Концепция развития рынка информационных технологий в Российской Федерации. Проект [Электронный ресурс] // Информрегистр. Режим доступа: <https://www.inforeg.ru/about/item/136>. Дата доступа: 17.09.2024.

Так, в [4] с помощью анкетирования изучается, как используют соцсети работники, а в [5] на основе данных, полученных при анкетировании, анализируется влияние использования социальных сетей работниками на их профессиональную продуктивность и социализацию в организациях. В [6] рассмотрены влияние социальных сетей на взаимоотношения в коллективе и вовлеченность в работу на базе данных опроса. Исследование [7] направлено на проверку гипотезы о положительном влиянии соцсетей на производительность работы сотрудников: в качестве метода сбора информации выбран опрос сотрудников.

В то же время исследованию использования компаниями социальных сетей для маркетинговой деятельности, привлечения клиентов, продвижения продуктов уделяется недостаточное внимание. С одной стороны, это может быть связано с некоторой новизной соцсетей. Как отмечено в [8], использование социальных сетей компаниями – новое явление, поэтому теоретическое и эмпирическое понимание деловой ценности соцсетей все еще находится на начальных стадиях. С другой стороны, в [9] высказывается мнение о том, что промышленное предприятие может иметь группу в социальной сети, но ее основное назначение будет заключаться не столько в стремлении прорекламировать продукцию, сколько в предоставлении различного рода информации всему штату компании, получая при этом обратную связь. В [10] представлен обзор исследований зависимости социальных медиа и эффективности бизнеса. Авторы отмечают, что им через Scopus, Web of Science, Google Scholar и Semantic Scholar удалось найти только 70 статей, опубликованных в период с 2003 по 2021 г. по этой теме. Проведенный в [10] анализ показывает, что основными методами исследования выступают опрос, интервью, анкеты, веб-скрейпинг, эксперимент.

Таким образом, можно говорить о значительном научном вакууме в области коммерческого использования социальных сетей организацией, в первую очередь маркетинговой составляющей. Несмотря на значимость и роль ведения организациями собственных соцсетей в теории, исследований, направленных на изучение такой деятельности, очень мало.

Еще один вопрос, который выявил проведенный анализ, – преимущественное использование в качестве метода сбора информации анкетирования и опроса. В то же время следует отметить, что сами аккаунты уже являются источником информации, позволяющим получить сведения о работе организаций в социальных сетях и об эффективности этой работы. Современные возможности парсинга соцсетей дают возможность собирать большие объемы информации автоматически. Также акцент на изучение аккаунтов компаний позволяет избежать проблем с активностью респондентов, на которые указано в [11].

Авторы данной статьи сделали попытку заполнить пробел в исследованиях, сосредоточившись на вопросах маркетингового взаимодействия IT-компаний с внешней средой через аккаунт компании в социальных сетях. Это поможет избежать субъективизма, связанного с анкетированием, а также собрать значительный объем материалов. Разработаны методические основы, которые позволят провести исследование IT-организаций в соцсетях.

Для анализа социальных сетей компаний были выбраны четыре успешные IT-организации с белорусскими корнями. Их характеристики приведены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристика исследуемых компаний
Table 1. Characteristics of the companies under study

Данные о компании	Компания			
	EPAM Systems	IBA Group	SaM Solutions	Itransition
Тип	Иностранное общество с ограниченной ответственностью	IBA Group – международная IT-компания с главным офисом в Праге (Чехия); IBA IT Park – центр разработки IBA Group в Минске	Иностранное унитарное научно-производственное предприятие	Закрытое акционерное общество
Сайт	epam.com	ibagroupit.com	sam-solutions.by; sam-solutions.com	itransition.com
Год основания	1993	1993	1993	1998
Источник: сайты компаний ^{3,4} .				

³ Рынок IT-услуг [Электронный ресурс] // Национальное агентство инвестиций и приватизации. Режим доступа: <https://investinbelarus.by/docs/IT.pdf>. Дата доступа: 17.09.2024.

⁴ Резиденты ПВТ [Электронный ресурс] // Парк высоких технологий. Режим доступа: <https://park.by/residents>. Дата доступа: 17.09.2024.

Анализ изучаемых компаний показал, что все они присутствуют в трех социальных сетях: LinkedIn, X, Facebook. Кроме того, у двух компаний есть еще аккаунты в YouTube, Instagram и Xing, а у одной – и в Pinterest (табл. 2).

Таблица 2. Социальные сети компаний, на которые есть ссылки с официального сайта
Table 2. Social networks of companies that have links from the official website

Компания	Соцсеть						
	LinkedIn	X	Facebook	Instagram	YouTube	Xing	Pinterest
EPAM Systems	1	1	1	1	1		
IBA Group	1	1	1	1	1	1	1
SaM Solutions	1	1	1			1	
Itransition	1	1	1				

Источник: разработка авторов на основе анализа официальных аккаунтов в социальных сетях.

Приведенное в табл. 3 количество подписчиков в разных соцсетях показывает, что их максимум приходится на сеть LinkedIn. Так, у компании EPAM Systems в этой соцсети подписчиков более 2 млн, у компании Itransition – примерно 38 тыс., у IBA Group – 26 тыс., у SaM Solutions – более 10 тыс.

Таблица 3. Число подписчиков в социальных сетях
Table 3. Number of subscribers in social networks

Компания	Число подписчиков в соцсети					
	LinkedIn	X	Facebook	Instagram	YouTube	Xing
EPAM Systems	2 118 662	9132	16 000	22 100	6810	–
IBA Group	26 000	770	15 000	1130	331	93
SaM Solutions	10 517	194	329	–	–	118
Itransition	38 756	2091	1200	–	–	–

Источник: разработка авторов на основе анализа официальных аккаунтов в социальных сетях <https://www.linkedin.com/>, <https://x.com/>, <https://www.facebook.com/>, <https://www.instagram.com/>, <https://www.youtube.com/>, <https://www.xing.com/>.

Следует отметить, что массовое присутствие компаний в LinkedIn связано, скорее всего, с их популярностью как работодателей и отражает интерес потенциальных и реальных сотрудников компании. В рамках исследования провели анализ работы рассматриваемых организаций в трех социальных сетях – X, Facebook, LinkedIn. В качестве временного промежутка, кроме SaM Solutions, был выбран октябрь 2024 г. Для SaM Solutions анализировался май 2024 г. – время ее достаточно активных публикаций, далее эта компания практически не делала публикаций. Предварительный (разведочный) анализ рассмотренных IT-компаний позволил разработать методические основы исследования, позволяющие оценить SMM в этих организациях.

Методические основы исследования

При исследовании уровня реализации IT-компаниями потенциала социальных сетей выполнялись следующие задачи:

- оценивалась активность работы компаний в социальных сетях;
- изучался инструментарий SMM, реализуемый компаниями;
- анализировалась активность компаний;
- анализировались отдельные показатели эффективности работы компании в социальных сетях.

В статье изложены как базовая методика проведения исследований, так и расширенный вариант, представленный в форме дополнительных возможностей. В выбранных социальных сетях X, Facebook, LinkedIn есть аккаунты каждой из рассматриваемых компаний – EPAM Systems, Itransition, IBA Group и SaM Solutions. Для анализа активности компании в соцсетях изучались показатели, приведенные в табл. 4.

Таблица 4. Показатели публикационной активности компаний
Table 4. Indicators of companies' publication activity

Показатель	Оцениваемая характеристика
Количество постов за месяц	Активность
Максимальное количество постов в день	Активность и регулярность
Максимальный временной промежуток без постов, дни	Активность и регулярность
<i>Источник:</i> собственная разработка.	

При изучении сетей анализировали уникальность статей в них. Для этого последовательно сравнивали уникальность постов Facebook по отношению к X, LinkedIn по отношению к X и Facebook. Для анализа использовались показатели, характеризующие степень схожести постов (табл. 5). Дополнительные возможности – это изучение других социальных сетей, расширение исследования до двух месяцев, анализ динамики активности компании по месяцам.

Таблица 5. Анализ дублей в социальных сетях (сравнение с X)
Table 5. Analysis of duplicates in social networks (comparison with X)

Соцсеть	Наличие дублей	Визуальная составляющая	Рерайтинг
Facebook	Д – дубль с сетью X Н – этот пост отсутствует в сети Facebook У – этот пост отсутствует в сети X	ИВ – изменен визуал	Р – рерайтинг текстовой части
LinkedIn	Д – дубль с сетями X и Facebook Д (X) – дубль только с сетью X Д (F) – дубль только с сетью Facebook Н – этот пост отсутствует в сети LinkedIn У – этот пост отсутствует в сетях X и Facebook		
Источник: собственная разработка.			

Более глубокий анализ предполагает сравнение Facebook и LinkedIn между собой. Изучение постов в социальных сетях позволило сгруппировать их по категориям в зависимости от основных тем, приведенных в табл. 6.

Таблица 6. Темы постов исследуемых организаций в социальных сетях
Table 6. Topics of social media posts by the organizations under study

Обозначение	Сущность	Задача
ИК	Информация о компании, ее образовательной и социальной деятельности, организационной культуре	Формирование имиджа компании
ИН	Информация о наградах, достижениях	Формирование имиджа компании
ИР	Информация о новых разработках компании, реклама продукции	Продвижение продукции
ПМ	Приглашение на мероприятие, где компания выступает партнером или участником	Приглашение клиентов, улучшение имиджа и реклама предоставляемых продуктов
ПП	Поздравления с праздниками	Формирование имиджа компании, так как часто подчеркивается связь компании с праздником
УК	Информация о партнерах или клиентах-брендах, об их успешных кейсах	Пиар за счет бренда партнера или клиента, продвижение продукции за счет доказательства ее пользы
ЭС	Экспертные статьи, видео и консультации экспертов	Формирование имиджа компании, продвижение продукции
<i>Источник:</i> собственная разработка.		

Анализ тем постов позволяет оценить гармоничность их качественной составляющей, в какой степени посты соответствуют целям и стратегиям маркетинговой компании, а также вариативность используемых тем. Наряду с темами, важно проанализировать и другие характеристики постов, позволяющие оценить широту инструментария SMM (табл. 7). Дополнительные возможности – качественный анализ наиболее популярных постов.

Таблица 7. Характеристики постов исследуемых организаций в социальных сетях
Table 7. Characteristics of posts of the studied organizations in social networks

Обозначение	Что оценивается
Особенности постов	Разнообразие, объем, особенности тематики, рекламный характер, наличие перепостов
Стиль	Соотношение делового и неформального, яркость и пестрота, наличие и характеристика картинок, единый стиль
Цветовое оформление	Цветовая гамма постов и иллюстраций, гармоничность и согласованность постов, особенности цветового оформления
Хештеги	Частота употребления используемых хештегов, тема хештегов, фирменные хештеги, расположение и количество хештегов
Ссылки	Количество и частота использования, куда ведут

Источник: собственная разработка.

При изучении вовлеченности подписчиков и посетителей страниц компании предлагается оценивать число лайков, а также сумму количества репостов и комментариев каждого поста. Данные показатели являются характеристиками эффективности SMM, позволяющими оценить качество работ. Для систематизации итоговых результатов исследований создана форма для анализа работы компаний в социальных сетях, представленная в табл. 8.

Таблица 8. Форма для анализа работы компаний в социальных сетях
Table 8. Form for analyzing the work of companies in social networks

Характеристика	Компания			
	EPAM Systems	IBA Group	SaM Solutions	Itransition
Количество постов				
Максимальное количество постов в день				
Максимальный промежуток без постов, дни				
Темы постов				
ИК				
ИН				
ИР				
ПМ				
ПП				
УК				
ЭС				
Особенности постов				
Стиль				
Цветовое оформление				
Хештеги				
Ссылки				
Среднее значение лайков на пост				
Среднее количество репостов и комментариев на пост				
Активность пользователей сети				

Источник: собственная разработка.

Заключение

1. Проведенное исследование позволило сформулировать следующие методические основы качественного и количественного анализа работы ИТ-компаний в социальных сетях по каждому из этапов анализа:

– сначала нужно определиться с целью и конкретными задачами исследования. В описанных методических основах предлагаются некоторые базовые варианты цели и задач, однако с учетом

специфики и информационных потребностей аналитика возможны скорректированные формулировки;

– далее необходимо выбрать временной промежуток исследования и социальные сети. Методические основы не предлагают однозначного алгоритма в данном контексте, но подразумевается ориентация в первую очередь на информативность получаемых итоговых выводов (в случае низкой информативности временной период должен увеличиваться);

– следует определиться с конкретными показателями для анализа. В методических основах предлагаются базовые показатели-метрики исследования, в том числе позволяющие оценить уникальность постов, широту охвата тем, дублирование информации, используемый инструментарий, вовлеченность подписчиков компании и пользователей;

– нужно провести расчет показателей. Для этого в методических основах предложены подходы к расчету метрик. На основе предварительного анализа компаний для ряда качественных показателей разработаны шкалы оценки;

– для систематизации итоговых результатов исследования предлагается использовать разработанную авторскую форму-таблицу.

2. Представленные методические основы были апробированы на приведенных в табл. 1 IT-компаниях. Их использование позволяет охарактеризовать компании, сравнить их друг с другом и проследить динамику работы в социальных сетях. Предложенные методические основы эффективны для конкурентных исследований, самоисследований и бенчмаркинга.

3. Уникальность предложенной методики состоит в доступности и объективности данных, в возможности сбора больших объемов информации.

4. Исследования на основе предложенных методических основ позволяют более рационально подходить к построению маркетинговой стратегии и разработке SMM-планов, эффективно работать над привлечением клиентов. В дальнейшем углубление исследований в этой области будет способствовать не только улучшению маркетинговых практик, но и созданию более точных и целенаправленных стратегий для достижения поставленных бизнес-целей.

Список литературы

1. Батура, М. П. К вопросу об эффективности и необходимости продвижения IT-компаний в социальных сетях / М. П. Батура, И. В. Марахина, В. А. Пархименко // Информационные технологии и системы 2024: матер. Междунар. науч. конф., г. Минск, 20 нояб. 2024 г. Минск: Белор. гос. ун-т информ. и радиоэлектр., 2024. С. 205–206.
2. Anugerah, A. R. Social Network Analysis in Business and Management Research: A Bibliometric Analysis of the Research Trend and Performance from 2001 to 2020 / A. R. Anugerah, P. S. Muttaqin, W. Trinarningsih // Heliyon. 2022. No 4. P. 1–12.
3. Кураева, С. А. К методологии исследования социальных сетей / С. А. Кураева // Научные труды Московского гуманитарного университета. 2017. № 5. С. 38–46.
4. Mohammed, A. S. An Empirical Investigation of the Impact of Social Media Tool Usage on Employees Work Performance Among Ghana Commercial Bank Workers: The Moderating Role of Social Media Usage Experience / A. S. Mohammed, S. N. Ayambila, S. Lukman // Brazilian Journal of Operations and Production Management. 2023. Vol. 20, No 1.
5. Kala Kamdjoug, J. R. Contributions of Social Networks to Employee Socialization and Performance in Cameroonian SMEs During the Covid-19 Pandemic / J. R. Kala Kamdjoug // Theoretical Economics Letters. 2023. Vol. 13, No 1. P. 1–29.
6. Professional Social Media Usage: Work Engagement Perspective / R. Oksa [et al.] // New Media & Society. 2021. Vol. 23, No 8. P. 2303–2326.
7. Pavithra, S. The Effect of Social Media on Employees' Job Performance with Reference to Information Technology (IT) Sector in Bangalore / S. Pavithra, K. V. Deepak // Materials Today: Proceedings. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.067>.
8. Impact of the Usage of Social Media in the Workplace on Team and Employee Performance / Qi Song [et al.] // Information & Management. 2019. Vol. 56, Iss. 8.
9. Немчинова, Е. Ю. Социальные сети в работе PR-отделов промышленных предприятий (на примере «ВКонтакте») / Е. Ю. Немчинова, А. А. Морозова // Знак: проблемное поле медиаобразования. 2017. № 3. С. 161–166.
10. Social Media and Its Connection to Business Performance – A Literature Review / B. Emmanuel [et al.] // American Journal of Industrial and Business Management. 2022. No 12. P. 877–893.

11. Marešová, P. Are Social Networks Sufficiently Used in Companies? Case Study in the Czech Republic / P. Marešová, O. Fadeyi, K. Kuča // *Sustainability*. 2020. Vol. 12, No 3.

Поступила 18.02.2025

Принята в печать 20.03.2025

Доступна на сайте 10.07.2025

References

1. Batura M. P., Marakhina I. V., Parkhimenko V. A. (2024) On the Efficiency and Necessity of Promoting IT Companies in Social Networks. *Information Technologies and Systems 2024, Proceedings of the International Scientific Conference, Minsk, Nov. 20*. Minsk, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. 205–206 (in Russian).
2. Anugerah A. R., Muttaqin P. S., Trinarningsih W. (2022) Social Network Analysis in Business and Management Research: A Bibliometric Analysis of the Research Trend and Performance from 2001 to 2020. *Heliyon*. (4), 1–12.
3. Kuraeva S. A. (2017) On the Methodology of Social Network Research. *Scientific Works of the Moscow Humanitarian University*. (5), 38–46 (in Russian).
4. Mohammed A. S., Ayambila S. N., Lukman S. (2023) An Empirical Investigation of the Impact of Social Media Tool Usage on Employees Work Performance Among Ghana Commercial Bank Workers: The Moderating Role of Social Media Usage Experience. *Brazilian Journal of Operations and Production Management*. 20 (1).
5. Kala Kamdjoug J. R. (2023) Contributions of Social Networks to Employee Socialization and Performance in Cameroonian SMEs During the Covid-19 Pandemic. *Theoretical Economics Letters*. 13 (1), 1–29.
6. Oksa R., Kaakinen M., Savela N., Ellonen N., Oksanen A. (2021) Professional Social Media Usage: Work Engagement Perspective. *New Media & Society*. 23 (8), 2303–2326.
7. Pavithra S., Deepak K. V. (2021) The Effect of Social Media on Employees' Job Performance with Reference to Information Technology (IT) Sector in Bangalore. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.067>.
8. Qi Song, Yi Wang, Yang Chen, Jose Benitez, Jiang Hu (2019) Impact of the Usage of Social Media in the Workplace on Team and Employee Performance. *Information & Management*. 56 (8).
9. Nemchinova E. Yu., Morozova A. A. (2017) Social Networks in the PR-Departments of Industrial Enterprises (on the Example of “VKontakte”). *Sign: Problematic Field of Media Education*. (3), 161–166 (in Russian).
10. Emmanuel B., Zhao S., Egala S. B., Mammet Y., Godson K. (2022) Social Media and Its Connection to Business Performance – A Literature Review. *American Journal of Industrial and Business Management*. 12 (5), 877–893.
11. Marešová P., Fadeyi O., Kuča K. (2020) Are Social Networks Sufficiently Used in Companies? Case Study in the Czech Republic. *Sustainability*. 12 (3).

Received: 18 February 2025

Accepted: 22 March 2025

Available on the website: 10 July 2025

Вклад авторов / Authors' contribution

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

Сведения об авторах

Батура М. П., д-р техн. наук, проф., зав. науч.-исслед. лаб. «Новые обучающие технологии», Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (БГУИР)

Марахина И. В., канд. экон. наук, доц., доц. каф. экономики, БГУИР

Пархименко В. А., канд. экон. наук, доц., зав. каф. экономики, БГУИР

Адрес для корреспонденции

220005, Республика Беларусь,
Минск, ул. Платонова, 39–809
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
Тел.: +375 29 380-59-99
E-mail: inamarahina@gmail.com
Марахина Инна Викторовна

Information about the authors

Batura M. P., Dr. Sci. (Tech.), Professor, Head of the R&D Laboratory “New Educational Technologies”, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (BSUIR)

Marakhina I. V., Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, Associate Professor at the Economics Department, BSUIR

Parkhimenko U. A., Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, Head of the Economics Department, BSUIR

Address for correspondence

220005, Republic of Belarus,
Minsk, Platonova St., 39–809
Belarusian State University
of Informatics and Radioelectronics
Tel.: +375 29 380-59-99
E-mail: inamarahina@gmail.com
Marakhina Ina Victorovna



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-2-13-20>

УДК 331.108.2

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА УДОВЛЕТВОРЕННОСТИ СОТРУДНИКОВ НА ОСНОВЕ ТЕКСТОВЫХ ДАННЫХ

А. Н. КОЗИНЕЦ

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

Аннотация. Исследовано применение методов глубокого обучения для анализа удовлетворенности сотрудников на основе текстовых данных. Проведен критический обзор существующих подходов к оценке удовлетворенности персонала, обоснована необходимость использования методов обработки естественного языка и глубоких нейронных сетей. На основе обширного открытого набора данных отзывов сотрудников разработана модель, позволяющая эффективно классифицировать тексты по уровням удовлетворенности. Проведен тематический анализ основных причин позитивных и негативных отзывов с помощью методов тематического моделирования Latent Dirichlet Allocation и Non-Negative Matrix Factorization. Результаты исследования демонстрируют высокую точность предложенной модели и ее практическую значимость для совершенствования HR-процессов в организациях.

Ключевые слова: глубокое обучение, анализ текстовых данных, удовлетворенность сотрудников, обработка естественного языка, HR-аналитика, тематическое моделирование, нейронные сети.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Козинец, А. Н. Применение методов глубокого обучения для анализа удовлетворенности сотрудников на основе текстовых данных / А. Н. Козинец // Цифровая трансформация. 2025. Т. 31, № 2. С. 13–20. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-2-13-20>.

APPLICATION OF DEEP LEARNING METHODS FOR EMPLOYEE SATISFACTION ANALYSIS BASED ON TEXT DATA

ALIAKSANDR N. KAZINETS

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

Abstract. The application of deep learning methods to analyze employee satisfaction based on text data is investigated. A critical review of existing approaches to assessing employee satisfaction is conducted, and the need to use natural language processing methods and deep neural networks is substantiated. Based on an extensive open dataset of employee reviews, a model is developed that allows for effective classification of texts by satisfaction levels. A thematic analysis of the main causes of positive and negative reviews is carried out using the topic modeling methods Latent Dirichlet Allocation and Non-Negative Matrix Factorization. The results of the study demonstrate the high accuracy of the proposed model and its practical significance for improving HR processes in organizations.

Keywords: deep learning, text data analysis, employee satisfaction, natural language processing, HR analytics, topic modeling, neural networks.

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

For citation. Kazinets A. N. (2025) Application of Deep Learning Methods for Employee Satisfaction Analysis Based on Text Data. *Digital Transformation*. 31 (2), 13–20. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-2-13-20> (in Russian).

Введение

В современном мире человеческий капитал является ключевым фактором успеха организаций. Удовлетворенность сотрудников непосредственно влияет на их производительность, лояльность и общую эффективность компании. Традиционные методы оценки удовлетворенности персонала, такие как опросы и интервью, ограничены субъективностью, затратами времени и ресурсов, а также низкой частотой проведения. С развитием методов обработки естественного языка (Natural Language Processing, NLP) и глубокого обучения появилась возможность автоматизировать и повысить точность оценки удовлетворенности сотрудников посредством анализа текстовых данных. Отзывы сотрудников на различных платформах содержат ценную информацию о восприятии рабочих условий, корпоративной культуры и управления [1].

Цель исследования автора статьи – разработка модели анализа удовлетворенности сотрудников на основе текстовых данных с использованием методов глубокого обучения, а также тематический анализ основных причин удовлетворенности и неудовлетворенности персонала. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- проанализированы существующие подходы к оценке удовлетворенности сотрудников на основе текстовых данных;
- обоснован выбор методов глубокого обучения и тематического моделирования для решения поставленной задачи;
- разработана модель на основе объема текстовых данных;
- проведен анализ основных тем в позитивных и негативных отзывах сотрудников;
- оценена эффективность модели и интерпретированы полученные результаты с точки зрения практического применения в управлении персоналом.

Научная новизна исследования заключается в интеграции методов глубокого обучения и тематического моделирования для анализа удовлетворенности сотрудников на основе большого объема текстовых данных, что позволяет организациям глубже понимать факторы, влияющие на удовлетворенность и неудовлетворенность персонала, и принимать обоснованные управленческие решения. Практическая значимость исследования состоит в возможности использования разработанной модели для оперативного мониторинга настроений сотрудников, выявления ключевых проблемных областей и выработки эффективных стратегий повышения удовлетворенности и лояльности персонала.

Анализ существующих подходов к оценке удовлетворенности сотрудников и методология исследования

Традиционные методы, такие как опросы удовлетворенности, анкетирование и интервью, широко применяются в управлении персоналом. Однако они обладают рядом ограничений:

- субъективность и предвзятость: результаты могут искажаться из-за социальных ожиданий или нежелания сотрудников выражать честное мнение;
- ресурсоемкость: проведение опросов требует значительных временных и финансовых затрат;
- ограниченная актуальность: данные устаревают в условиях динамичной рабочей среды.

С развитием цифровых технологий сотрудники все чаще оставляют отзывы на различных платформах, таких как Glassdoor, предоставляя ценную информацию о своем опыте работы. Анализ этих данных обеспечивает актуальные инсайты о настроениях и проблемах сотрудников. Методы NLP и глубокого обучения позволяют автоматизировать анализ больших объемов текстовой информации. Модели глубокого обучения, такие как BERT и его облегченная версия DistilBERT, продемонстрировали высокую эффективность в задачах классификации текстов и анализа тональности [2]. Тематика моделирования, включая методы LDA (Latent Dirichlet Allocation) и NMF (Non-Negative Matrix Factorization), позволяет обнаруживать скрытые темы в текстовых данных. Это способствует более глубокому пониманию основных факторов, влияющих на удовлетворенность или неудовлетворенность сотрудников [3].

Для проведения исследования был выбран открытый набор данных Glassdoor Reviews, включающий отзывы сотрудников различных компаний [4]. Набор данных содержит следующие поля:

дата отзыва (date_review);
должность (job_title);
локация (location);
статус (current);

плюсы (pros);
минусы (cons);
заголовок (headline);
общий рейтинг (overall_rating);
рейтинги по различным критериям: корпоративная культура, руководство, компенсация и льготы и т. д.

Основные характеристики набора данных приведены в табл. 1.

Таблица 1. Основные характеристики набора данных
Table 1. Main characteristics of the dataset

Параметр	Описание
Количество записей	220 000+
Количество признаков	16
Основные поля	date_review, job_title, location, pros, cons, headline, overall_rating

Для обеспечения качества данных были проведены следующие этапы предварительной обработки:

- удаление пропущенных значений: исключены записи с отсутствующими ключевыми полями для предотвращения искажений в анализе;
- объединение текстовых полей: поля pros, cons и headline объединены в единое текстовое поле review для упрощения дальнейшего анализа;
- очистка текста:
 - приведение всех символов к нижнему регистру для унификации текста;
 - удаление неалфавитных символов и лишних пробелов для очистки данных;
 - удаление стоп-слов с использованием списка NLTK для снижения шумов в текстовых данных;
- разметка данных: на основе значения overall_rating отзывы классифицированы на три категории:
 - негативные: рейтинг ≤ 2 ;
 - нейтральные: рейтинг = 3;
 - позитивные: рейтинг ≥ 4 .

Для задачи классификации отзывов была выбрана модель DistilBERT благодаря ее высокой эффективности и сниженным требованиям к вычислительным ресурсам по сравнению с полной версией BERT. DistilBERT продемонстрировала отличные результаты в задачах классификации текста и анализа тональности, что делает ее подходящей для многоклассовой классификации отзывов сотрудников. Процесс обучения модели включал следующие этапы:

- разделение данных:
 - обучающая выборка: 80 % данных для обучения модели;
 - тестовая выборка: 20 % данных для оценки производительности модели;
- параметры обучения:
 - количество эпох: 3;
 - размер батча: 32;
 - максимальная длина последовательности: 64 токена;
 - оптимизация: использован оптимизатор AdamW с начальной скоростью обучения $2e-5$;
- использование графических процессоров (GPU): обучение модели проводилось на GPU для ускорения вычислительных процессов;
- метрики оценки модели:
 - Accuracy: общая точность классификации;
 - Precision, Recall, F1-score: для каждой из категорий (негативные, нейтральные, позитивные);
 - матрица ошибок: визуализация результатов классификации для анализа ошибок модели.

Для выявления основных причин удовлетворенности и неудовлетворенности сотрудников применялись методы тематического моделирования:

- выделение основных причин позитивных и негативных отзывов:
 - TF-IDF (Term Frequency-Inverse Document Frequency): использован для определения наиболее частых и значимых слов в текстах отзывов;
- тематика моделирования методом:

– LDA: применен для выявления скрытых тем в отзывах, что способствует пониманию ключевых факторов, влияющих на удовлетворенность сотрудников [5];

– NMF: использован для дополнительного анализа и подтверждения выявленных тем, обеспечивая более глубокое понимание данных.

Выбор набора данных Glassdoor Reviews и применение методов глубокого обучения в сочетании с тематическим моделированием позволили провести всесторонний анализ удовлетворенности сотрудников. Предварительная обработка данных обеспечила их качество и пригодность для дальнейшего анализа, а использование модели DistilBERT и методов тематического моделирования способствовало получению достоверных и значимых результатов. Данные подходы обеспечивают высокую академическую ценность исследования и могут быть эффективно использованы в практике управления персоналом для повышения удовлетворенности и лояльности сотрудников.

Результаты исследований и их обсуждение

После обучения модели были получены результаты классификации модели, представленные в табл. 2.

Таблица 2. Результаты классификации модели
Table 2. Model classification results

Метрика	Точность и полнота отзывов, %			Среднее значение
	негативных	нейтральных	позитивных	
Precision	0,70	0,47	0,81	0,66
Recall	0,62	0,41	0,87	0,63
F1-score	0,66	0,44	0,84	0,64
Support (количество)	6511	9363	21 126	40 000

Точность (accuracy) дообученной (fine-tuned) нейронной модели на базе DistilBERT составила 72 %, что свидетельствует о ее высокой эффективности в задаче многоклассовой классификации отзывов по уровням удовлетворенности сотрудников [6]. Анализ результатов:

- позитивные отзывы: модель демонстрирует наивысшую точность (Precision = 0,81) и полноту (Recall = 0,87) для позитивных отзывов. Это обусловлено большим количеством данных в этом классе, что обеспечивает более стабильное обучение модели и снижает вероятность переобучения;

- негативные отзывы: точность и полнота в них также высоки (Precision = 0,70, Recall = 0,62), однако они несколько ниже по сравнению с позитивными отзывами. Это может быть связано с меньшим количеством примеров негативных отзывов в наборе данных, что ограничивает способность модели эффективно их распознавать;

- нейтральные отзывы: метрики Precision и Recall для нейтральных отзывов значительно ниже (0,47 и 0,41 соответственно). Это указывает на сложность модели в различении нейтральных отзывов, которые часто содержат смешанные или менее выраженные эмоциональные оценки. Также меньший объем данных для этого класса может способствовать снижению точности классификации.

Матрица ошибок классификации модели по отзывам приведена на рис. 1. Матрица показывает, что основная путаница возникает между нейтральными и позитивными отзывами (4186 нейтральных отзывов были классифицированы как позитивные, а 2693 позитивных – как нейтральные). Это может быть связано с тем, что нейтральные отзывы часто содержат элементы как позитивных, так и негативных аспектов, что затрудняет их однозначную классификацию. Также наблюдается некоторая путаница между негативными и нейтральными отзывами (1584 негативных классифицированы как нейтральные). Для выявления ключевых факторов, влияющих на удовлетворенность и неудовлетворенность сотрудников, был проведен тематический анализ с использованием методов TF-IDF, LDA и NMF.

Выделение ключевых слов

Позитивные отзывы: основные причины позитивных отзывов включают следующие ключевые слова: good, work, great, company, place, people, hours, working, environment, balance. Эти слова указывают на положительное восприятие рабочих условий, корпоративной культуры и баланса между работой и личной жизнью.

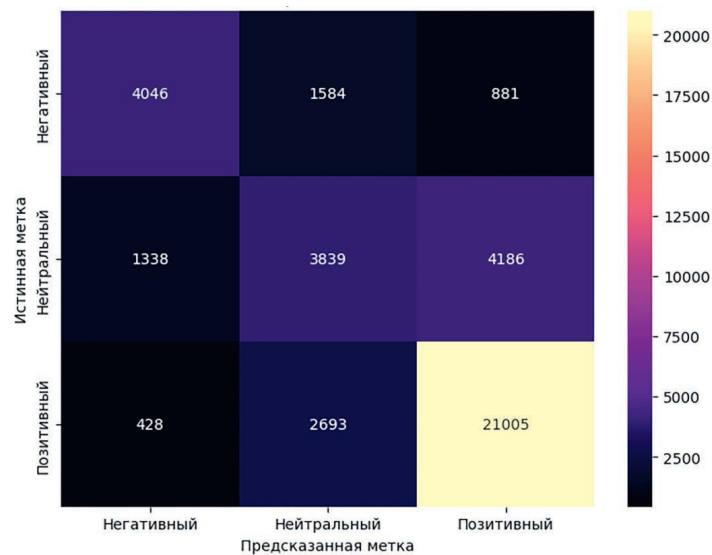


Рис. 1. Матрица ошибок классификации модели по отзывам

Fig. 1. Error matrix of the model classification based on reviews

Негативные отзывы: основные причины негативных отзывов включают ключевые слова: work, management, good, people, company, pay, staff, poor, great, get. Эти слова свидетельствуют о проблемах с руководством, низкой оплате труда и об общей неудовлетворенности рабочими условиями.

Тематические моделирования с использованием методов LDA и NMF приведены в табл. 3–6.

Таблица 3. Темы в позитивных отзывах LDA

Table 3. Topics in positive reviews LDA

Тема	Ключевые слова
1	company, opportunities, people, great, business, management, career, many, culture, employees
2	great, work, company, place, good, people, benefits, environment, cons, lots
3	like, work, working, one, get, best, people, job, years, really
4	good, hours, job, staff, long, pay, work, working, time, get
5	good, work, balance, life, salary, great, environment, place, hours, working

Таблица 4. Темы в негативных отзывах LDA

Table 4. Topics in negative reviews LDA

Тема	Ключевые слова
1	work, people, company, get, good, don't, one, like, management, even
2	work, hours, good, get, working, time, don't, people, job, managers
3	management, work, staff, good, pay, company, people, employees, poor, hours
4	sales, company, gs, oracle, reps, good, bad, ryan, dog, tax
5	good, work, culture, management, great, people, company, leadership, poor, lack

Таблица 5. Темы в позитивных отзывах NMF

Table 5. Topics in positive feedback NMF

Тема	Ключевые слова
1	hours, working, long, people, environment, job, flexible, time, get, opportunities
2	good, work, pay, salary, nice, environment, place, bad, nothing, cons
3	balance, life, work, work-life, growth, learning, culture, less, best, salary
4	company, benefits, best, great, employees, big, opportunities, culture, growth, large
5	great, place, work, people, culture, benefits, none, cons, think, career

Таблица 6. Темы в негативных отзывах NMF
Table 6. Negative messaging themes NMF

Тема	Ключевые слова
1	people, company, employees, great, get, many, don't, like, years, time
2	poor, management, lack, great, pay, culture, senior, support, leadership, colleagues
3	work, life, balance, environment, hours, place, work-life, culture, long, home
4	staff, hours, pay, working, free, managers, food, discount, job, get
5	good, bad, pay, benefits, salary, nothing, culture, management, everything, terrible

Обсуждение результатов тематического анализа

Позитивные отзывы:

- хорошие условия труда: темы, связанные с благоприятной рабочей средой, включают такие слова, как good, great, work, company, people, environment. Это отражает позитивное восприятие сотрудниками условий труда и корпоративной культуры;

- баланс работы и личной жизни: часто встречаются слова balance, life, flexible, hours, что указывает на важность баланса между профессиональными обязанностями и личной жизнью для сотрудников;

- возможности роста: слова opportunities, career, growth, learning подчеркивают наличие возможностей для профессионального развития и карьерного роста, что является значимым фактором удовлетворенности сотрудников.

Негативные отзывы:

- проблемы с руководством: часто упоминаются слова management, poor, lack, leadership, что свидетельствует о наличии проблем в управлении и недостаточной поддержке со стороны руководства;

- низкая оплата труда: слова pay, salary, benefits, nothing указывают на недовольство уровнем заработной платы и социальными льготами, что является одной из основных причин неудовлетворенности сотрудников;

- долгие рабочие часы: слова work, hours, long, time, work-life balance отражают перегрузку работой и недостаточный баланс между работой и личной жизнью, что негативно сказывается на удовлетворенности сотрудников.

На основании полученных результатов классификации и тематического анализа можно выделить ключевые факторы, влияющие на удовлетворенность и неудовлетворенность сотрудников.

Ключевые факторы удовлетворенности:

- хорошие условия труда: благоприятная рабочая среда, поддержка со стороны коллег и руководства;

- баланс работы и личной жизни: гибкий график, возможность совмещать профессиональные обязанности с личными интересами;

- возможности карьерного роста: наличие программ профессионального развития, возможности для повышения квалификации и продвижения по карьерной лестнице.

Основные причины неудовлетворенности:

- проблемы с руководством: недостаточная поддержка, неэффективное управление, отсутствие прозрачности в принятии решений;

- низкая оплата труда: несоответствие уровня заработной платы и социальных льгот ожиданиям сотрудников;

- перегрузка работой: длительные рабочие часы, высокая нагрузка, недостаточный баланс между работой и личной жизнью.

Применение модели DistilBERT и методов тематического моделирования позволило провести детальный анализ отзывов сотрудников, выявить ключевые факторы, влияющие на их удовлетворенность и неудовлетворенность. Полученные результаты имеют высокую академическую ценность и могут быть использованы для разработки стратегий управления персоналом, направленных на повышение удовлетворенности и лояльности сотрудников. В дальнейшем рекомендуется расширить исследование, включив дополнительные данные и более сложные модели анализа для повышения точности и глубины понимания факторов, влияющих на удовлетворенность сотрудников.

Практическая значимость и рекомендации

Результаты исследования предоставляют ценные инсайты для оптимизации управления персоналом. Внедрение разработанной модели анализа удовлетворенности сотрудников способствует улучшению различных аспектов HR-менеджмента посредством следующих направлений.

1. Мониторинг настроений сотрудников. Регулярный анализ отзывов сотрудников с использованием автоматизированных методов NLP позволяет оперативно выявлять текущие настроения и потенциальные проблемы внутри организации. Это обеспечивает возможность своевременного реагирования на негативные тенденции, предотвращения ухудшения морального климата и поддержания высокого уровня удовлетворенности персонала.

2. Выявление проблемных областей. Тематический анализ, выполненный с помощью методов LDA и NMF, позволяет идентифицировать конкретные сферы, требующие улучшения. Определение ключевых тем негативных отзывов, таких как проблемы с руководством, низкая оплата труда или перегрузка работой, предоставляет руководству четкое представление о приоритетных областях для вмешательства и улучшений.

3. Разработка целевых стратегий. На основе полученных данных организации могут разрабатывать и внедрять целевые программы, направленные на повышение удовлетворенности сотрудников. Это включает разработку инициатив по улучшению условий труда, баланса между работой и личной жизнью, а также предоставление возможностей для профессионального роста и развития.

4. Улучшение управленческих практик. Результаты анализа подчеркивают важность развития управленческих навыков руководителей. Обучение и развитие менеджеров в области эффективного лидерства, коммуникации и управления конфликтами способствует повышению доверия сотрудников и созданию более позитивной рабочей атмосферы.

5. Оптимизация рабочего времени. Внедрение гибких графиков работы и поддержка удаленного формата труда являются эффективными мерами для улучшения баланса между работой и личной жизнью сотрудников. Такие подходы способствуют снижению стресса, увеличению производительности и общей удовлетворенности сотрудников.

6. Пересмотр системы компенсаций и льгот. Анализ отзывов указывает на значимость конкурентоспособной системы оплаты труда и социальных льгот. Регулярный пересмотр и корректировка уровней заработной платы, а также расширение пакета льгот, соответствующих рыночным стандартам и ожиданиям сотрудников, являются ключевыми факторами мотивации и удержания талантливых специалистов.

Для эффективной реализации предложенных рекомендаций рекомендуется следующая последовательность действий:

1) внедрение системы постоянного мониторинга: автоматизированные инструменты для анализа отзывов должны быть интегрированы в существующие HR-системы для обеспечения непрерывного отслеживания настроений сотрудников;

2) проведение регулярных тематических анализов: периодическое выполнение тематического анализа позволяет актуализировать данные и выявлять новые тенденции и проблемы по мере их возникновения;

3) разработка и реализация программ улучшения: на основе выявленных проблемных областей необходимо разрабатывать конкретные программы и инициативы, направленные на их устранение. Это может включать тренинги для руководителей, пересмотр графиков работы, а также улучшение системы вознаграждений;

4) оценка эффективности внедренных мер: важно регулярно оценивать результаты принятых мер с помощью тех же методов анализа, чтобы определить их влияние на удовлетворенность сотрудников и при необходимости корректировать стратегии.

Применение результатов исследования в управлении персоналом предоставляет организациям мощный инструмент для повышения удовлетворенности и лояльности сотрудников. Автоматизированный мониторинг настроений, тематический анализ проблемных областей и разработка целевых стратегий позволяют принимать обоснованные управленческие решения, способствующие улучшению рабочей среды и достижению стратегических целей компании. В дальнейшем рекомендуется расширить исследование, интегрируя дополнительные источники данных и совершенствуя модели анализа для повышения их точности и адаптивности к динамичным условиям современного рынка труда.

Заключение

1. Разработана и внедрена модель анализа удовлетворенности сотрудников на основе методов глубокого обучения, ориентированная на обработку и интерпретацию текстовых отзывов. Применение модели DistilBERT продемонстрировало высокую точность классификации, особенно в категоризации позитивных и негативных отзывов, что подтверждается показателями Precision и Recall, достигшими 0,81 и 0,87 соответственно для позитивных отзывов. Такой результат свидетельствует о надежности и эффективности модели в контексте многоклассовой классификации данных об удовлетворенности сотрудников.

2. Проведенный тематический анализ с использованием методов LDA и NMF позволил выявить ключевые факторы, влияющие на уровень удовлетворенности и неудовлетворенности персонала. Основные положительные аспекты, такие как благоприятные условия труда, баланс между работой и личной жизнью, а также возможности для карьерного роста, были подтверждены частотным и тематическим анализом. Выявлены критические области, включая проблемы с руководством, низкий уровень оплаты труда и перегрузку работой, что предоставляет ценную информацию для стратегического планирования в управлении человеческими ресурсами.

3. Полученные результаты обладают высокой практической значимостью для организаций, стремящихся к повышению эффективности управления персоналом. Автоматизированный мониторинг настроений сотрудников и выявление проблемных областей на основе анализа текстовых данных позволяют своевременно принимать обоснованные управленческие решения, направленные на улучшение условий труда и повышение лояльности сотрудников. Внедрение разработанной модели будет способствовать не только повышению уровня удовлетворенности сотрудников, но и общей производительности и конкурентоспособности компании.

Список литературы / References

1. Jurafsky D., Martin J. H. (2008) *Speech and Language Processing: An Introduction to Natural Language Processing, Computational Linguistics, and Speech Recognition*. USA, Prentice Hall Publ.
2. Devlin J., Chang M.-W., Lee K., Toutanova K. (2019) BERT: Pre-Training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. *arXiv preprint arXiv:1810.04805*.
3. Griffiths T. L., Steyvers, M. (2004) Finding Scientific Topics. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 101, 5228–5235.
4. Kaggle. DG. Glassdoor Job Reviews (2021) Available: <https://www.kaggle.com/datasets/davidgauthier/glassdoor-job-reviews> (Accessed 1 October 2024).
5. Blei D. M., Ng A. Y., Jordan M. I. (2003) Latent Dirichlet Allocation. *Journal of Machine Learning Research*. 3, 993–1022.
6. Kazinets A. (2024) Application of Deep Learning Methods for Employee Satisfaction Analysis Based on Text Data. *Google Colab*. Available: https://colab.research.google.com/drive/1oFYqwiu2-rty2njxat_y2RX1JCKGhNkKw?usp=sharing (Accessed 1 October 2024).

Поступила 18.11.2024

Принята в печать 16.01.2025

Доступна на сайте 10.07.2025

Received: 18 November 2024

Accepted: 16 January 2025

Available on the website: 10 July 2025

Сведения об авторе

Козинец А. Н., асп. каф. экономики, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
Минск, ул. П. Бровки, 6
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
Тел.: +375 17 293-80-46
E-mail: kozinets.science@gmail.com
Козинец Александр Николаевич

Information about the author

Kazinets A. N., Postgraduate 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 17 293-80-46
E-mail: kozinets.science@gmail.com
Kazinets Aliaksandr Nikolaevich



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-2-21-31>

УДК 331.1+004.89

ПРИМЕНЕНИЕ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ НА РЕГИОНАЛЬНОМ РЫНКЕ ТРУДА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

И. Н. КАЛИНОВСКАЯ

Витебский государственный технологический университет (Витебск, Республика Беларусь)

Аннотация. Представлен комплексный подход к анализу профессиональных компетенций на рынке труда Беларуси с применением больших языковых моделей. Предложена методика, включающая сбор данных с использованием веб-скраперов, предварительную обработку с применением многоуровневой системы очистки и нормализацией текстовой информации, классификацию и анализ компетенций на основе взаимодействия с большими языковыми моделями. Сформированы детализированные профили навыков для каждой профессиональной группы, выявлены кластеры взаимодополняющих компетенций, определены устойчивые сочетания навыков, требуемых в различных профессиональных областях. Продemonстрирована высокая эффективность применения больших языковых моделей для задач извлечения информации о компетенциях из неструктурированных текстовых описаний вакансий с показателями точности и полноты извлечения, превышающими 85 %. Разработана методология анализа рынка труда, интегрирующая традиционные методы анализа больших данных с возможностями современных языковых моделей.

Ключевые слова: большие языковые модели, рынок труда, цифровая экономика, профессиональные компетенции, управление человеческими ресурсами, скрейпинг данных, анализ данных, вакансии, искусственный интеллект, экономика знаний.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Калиновская, И. Н. Применение больших языковых моделей для анализа профессиональных компетенций на региональном рынке труда Республики Беларусь / И. Н. Калиновская // Цифровая трансформация. 2025. Т. 31, № 2. С. 21–31. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-2-21-31>.

THE USE OF LARGE LANGUAGE MODELS FOR THE ANALYSIS OF PROFESSIONAL COMPETENCIES IN THE REGIONAL LABOR MARKET OF THE REPUBLIC OF BELARUS

IRYNA N. KALINOUSKAYA

Vitebsk State Technological University (Vitebsk, Republic of Belarus)

Abstract. An integrated approach to the analysis of professional competencies in the Belarusian labor market using large language models is presented. A methodology is proposed that includes data collection using web scrapers, preliminary processing using a multi-level cleaning system and normalization of text information, classification and analysis of competencies based on interaction with large language models. Detailed skill profiles for each professional group are formed, clusters of complementary competencies are identified, and stable combinations of skills required in various professional fields are determined. High efficiency of using large language models for the tasks of extracting information on competencies from unstructured text descriptions of vacancies is demonstrated with accuracy and completeness indicators exceeding 85%. A methodology for labor market analysis has been developed that integrates traditional big data analysis methods with the capabilities of modern language models.

Keywords: large language models, labor market, digital economy, professional competencies, human resource management, data scraping, data analysis, vacancies, artificial intelligence, knowledge economy.

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

For citation. Kalinouskaya I. N. (2025) The Use of Large Language Models for the Analysis of Professional Competencies in the Regional Labor Market of the Republic of Belarus. *Digital Transformation*. 31 (2), 21–31. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-2-21-31> (in Russian).

Введение

В условиях трансформации экономики Беларуси и изменений на рынке труда, вызванных цифровизацией и автоматизацией производственных процессов, вопрос соответствия навыков работников требованиям работодателей приобретает особую актуальность. Структура занятости в республике претерпевает значительные изменения: сокращается доля традиционных профессий, возникают новые специальности, меняются требования к квалификации работников во всех отраслях экономики [1].

Витебский регион, как один из крупнейших промышленных и образовательных центров Беларуси, представляет собой репрезентативный пример региональной экономики страны. Анализ требований к профессиональным навыкам в вакансиях Витебской области позволяет выявить актуальные тенденции на региональном рынке труда, определить наиболее востребованные компетенции и спрогнозировать изменения в структуре спроса на рабочую силу [2, 3].

В качестве источников информации для исследования были использованы ведущие цифровые платформы страны по поиску работы: gsz.gov.by (сайт государственной службы занятости), rabota.by (крупнейший интернет-портал поиска работы и сотрудников в Беларуси), belmeta.com (агрегатор вакансий с различных сайтов по поиску работы). База данных исследования формировалась на основании информации из текста вакансий, опубликованных в период с января по октябрь 2024 г., что обеспечивало актуальность результатов исследования и позволяло отразить современные тенденции на рынке труда Витебской области. Общий объем проанализированных вакансий составил более 1000 уникальных записей. На основе этих информационных ресурсов с применением больших языковых моделей (LLM) [4] создана структурированная база данных вакансий с детальной классификацией по профессиональным категориям, отраслевой принадлежности, требуемым компетенциям и уровню заработной платы. Для анализа были выбраны три профессиональные группы согласно республиканскому и международному классификационным стандартам занятости (ОКРБ/ISCO): специалисты высшего уровня квалификации (группа 2), работники сферы обслуживания и торговли (группа 5), квалифицированные рабочие промышленности (группа 7). Выбор данных групп обусловлен следующими факторами:

- репрезентативность экономической структуры Витебского региона:
 - группа 2 представляет интеллектуальный потенциал региона, включая специалистов IT-сектора, инженеров, экономистов, работников высших и средних специальных учебных заведений, научных сотрудников, специалистов в сфере образования и здравоохранения, что отражает развитие наукоемких отраслей экономики и социальной сферы;
 - группа 5 отражает развитие сферы услуг и торговли, которая является динамично растущим сектором экономики региона;
 - группа 7 представляет традиционный для Витебска промышленный сектор, включающий текстильные, машиностроительные, приборостроительные предприятия;
- наибольшая доля в структуре вакансий: совокупно на эти три группы приходится около 67 % всех вакансий в Витебской области, что делает анализ репрезентативным для рынка труда в целом;
- различный характер требуемых компетенций: каждая из выбранных групп требует своего специфического набора как профессиональных, так и личностных компетенций, что позволяет выявить разнообразные аспекты требований работодателей;
- разная степень влияния цифровизации: выбранные группы в различной степени подвержены влиянию цифровой трансформации экономики, что позволяет проследить влияние этого фактора на требования к навыкам.

В статье представлены результаты комплексного анализа требуемых профессиональных навыков на рынке труда Витебской области на основе данных из вакансий. Анализ направлен на решение двух основных задач:

- формирование профилей требуемых навыков для каждой профессиональной группы;
- расчет частотности упоминания каждого навыка в вакансиях;

- определение ключевых (наиболее часто требуемых) навыков;
- сравнительный анализ профилей навыков между разными профессиональными группами;
- проведение кластерного анализа навыков для выявления взаимосвязей между ними;
- выявление сочетаний навыков, часто требуемых вместе;
- определение групп взаимодополняющих навыков;
- анализ взаимосвязи между различными навыками.

В исследовании использовались такие методы, как частотный анализ для определения наиболее востребованных компетенций, кластерный анализ для выявления групп взаимосвязанных навыков, корреляционный анализ выявления сочетаний навыков, часто требуемых вместе.

Методика сбора и обработки данных

Применялась комплексная методика автоматизированного анализа данных рынка труда, основанная на использовании LLM, которая реализовывалась в виде последовательных этапов, представленных на рис. 1.

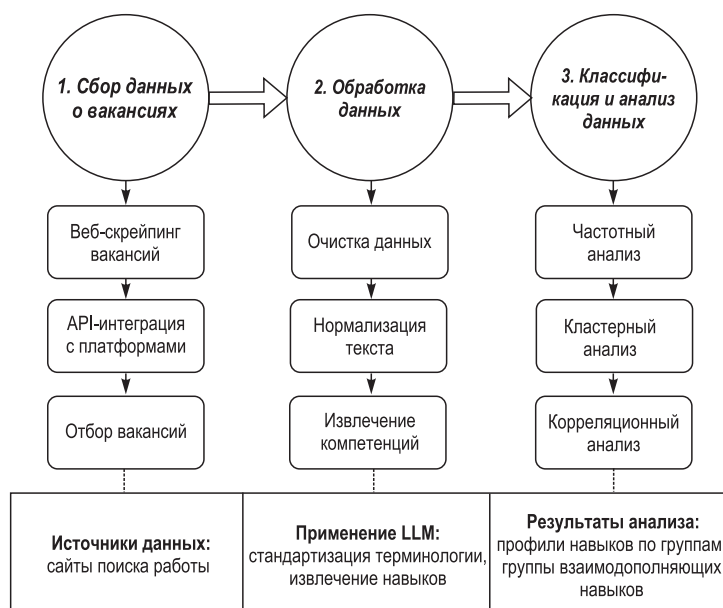


Рис. 1. Комплексная методика автоматизированного анализа данных рынка труда, основанная на применении больших языковых моделей

Fig. 1. A comprehensive methodology for automated analysis of labor market data based on the use of large language models

1. Сбор данных о вакансиях:

- осуществлялось автоматизированное извлечение информации с ведущих цифровых платформ поиска работы (gsz.gov.by, rabota.by, belmeta.com) с помощью специализированного программного обеспечения;
- использовался асинхронный подход к обработке информации, что позволило эффективно собрать данные по более 1000 вакансиям Витебской области за период январь – октябрь 2024 г.;
- реализовывались технические решения для преодоления ограничений доступа к данным на платформах поиска работы.

2. Обработка данных:

- применялись алгоритмы предварительной обработки текстов вакансий – удаление нерелевантной информации, стандартизация форматов данных;
- выполнялась дедупликация вакансий с использованием анализа текстового сходства, что позволило исключить повторяющиеся объявления;
- осуществлялось хранение данных в структурированном виде с возможностью быстрого поиска и анализа;
- разрабатывались специализированные запросы к LLM (Claude.AI и ChatGPT) для извлечения информации о требуемых навыках из текстов вакансий;

- реализовывался подход с использованием примеров, что позволило значительно повысить точность извлечения компетенций;

- внедрялись механизмы проверки и исправления возможных ошибок в извлеченных данных.

3. Классификация и анализ данных:

- проводилось распределение вакансий по трем профессиональным группам согласно республиканскому и международному стандартам ОКРБ/ISCO;

- выполнялся частотный анализ упоминания компетенций для выявления наиболее востребованных навыков в каждой группе;

- осуществлялся корреляционный анализ для определения навыков, часто требуемых совместно;

- проводился кластерный анализ для выявления групп взаимодополняющих компетенций.

В результате применения данной методики сформирована аналитическая база, содержащая 1067 вакансий и 616 уникальных навыков, структурированных по профессиональным группам. Точность извлечения информации о компетенциях составила более 85 %, что подтверждено выборочной проверкой результатов.

Разработанная методология автоматизированного анализа данных рынка труда представляет собой комплексный трехэтапный подход, основанный на применении современных информационных технологий и методов искусственного интеллекта. Методика характеризуется системностью, масштабируемостью и высокой степенью автоматизации, что обеспечивает возможность обработки значительных объемов неструктурированных данных о вакансиях с последующим извлечением информации о требуемых компетенциях.

Для сбора и обработки информации о вакансиях была создана комплексная система из нескольких взаимосвязанных компонентов, основой которой служил автоматический инструмент для сбора данных с веб-сайтов, разработанный на языке программирования Python. Этот инструмент способен одновременно обрабатывать множество страниц с вакансиями, что значительно ускоряет процесс. Для равномерного распределения нагрузки и обеспечения бесперебойной работы была внедрена специальная система управления очередями задач [5]. Собранная информация сохранялась в структурированной базе данных, которая позволяла эффективно организовать и быстро находить нужные сведения. Одновременно использовалась дополнительная система для полнотекстового поиска по вакансиям и проведения разносторонней аналитики. Все компоненты системы работали в изолированной среде, что упрощало их обновление и расширение.

На следующем этапе применялась многоуровневая система предварительной обработки текстов вакансий из разных источников. Эта система последовательно очищает, приводит к единому формату и стандартизирует описания вакансий. Для этого разрабатывались специальные алгоритмы с целью выделения ключевой информации из неструктурированных текстов вакансий. Эти алгоритмы эффективно выявляют профессиональные навыки, требования к квалификации, сведения о заработной плате и регионе. Важным элементом данной методики является система выявления дубликатов вакансий, которая работает на основе анализа схожести текстов [6]. Для обработки данных использовались современные технологии автоматического управления и масштабирования вычислительных ресурсов в зависимости от нагрузки [7]. Обработка поступающих данных была организована как непрерывный процесс, что обеспечивало высокую производительность системы. Для организации рабочих процессов применялось специальное программное обеспечение, которое управляло последовательностью операций при извлечении, преобразовании и загрузке данных [8]. Постоянный мониторинг работы системы позволил своевременно выявлять отклонения и оптимизировать производительность. Ключевым элементом методики является использование LLM на базе искусственного интеллекта (Claude.AI и ChatGPT) для извлечения структурированной информации и классификации вакансий. Применение этих моделей позволило значительно повысить точность выявления профессиональных компетенций в текстах вакансий по сравнению с традиционными методами анализа текстов.

В ходе исследования разработана и протестирована система специальных инструкций для моделей искусственного интеллекта, направленных на эффективное извлечение информации из описаний вакансий. Эта система легко адаптируется к различным форматам представления информации и способна выделять значимые элементы даже в случаях неявного упоминания ком-

петенций. Для обеспечения достоверности результатов внедрены механизмы многоуровневой проверки, включающие как формальный контроль структуры данных, так и анализ смыслового содержания извлеченной информации.

Сцелью структурирования извлекаемой информации разработаны специальные шаблоны, определяющие формат представления профессиональных компетенций. Проверка полученных результатов реализована с помощью схем, обеспечивающих соответствие выходных данных заданному формату [9]. Для повышения надежности системы внедрены механизмы автоматического исправления ошибок при обработке данных [10].

Формирование профилей навыков

Предварительный анализ полученных данных показал распределение средних зарплат по профессиональным группам, представленное в табл. 1.

Таблица 1. Распределение средних зарплат по профессиональным группам
Table 1. Distribution of average salaries by professional groups

Профессиональная группа	Зарплата, руб.	
	средняя	медианная
2	1850	1780
5	1450	1380
7	1320	1270

Анализ данных выявил ожидаемую закономерность: специалисты высшего уровня квалификации (группа 2) имеют более высокую среднюю заработную плату, чем представители других профессиональных групп. При этом наибольшее количество вакансий представлено для квалифицированных рабочих промышленности (группа 7), что отражает структуру экономики Витебского региона с преобладанием промышленного сектора. Анализ частоты упоминания навыков в вакансиях группы 2 выявил наиболее востребованные навыки, перечисленные в табл. 2.

Таблица 2. Анализ частоты упоминания навыков в вакансиях группы 2
Table 2. Analysis of the frequency of mentioning skills in vacancies of group 2

Навык	Частота упоминания навыка	Показатель от вакансий группы 2, %
Анализ данных	42	33,9
Управление проектами	38	30,6
Бизнес-планирование	35	28,2
Стратегическое планирование	30	24,2
Английский язык	28	22,6
Системный анализ	26	21,0
Управление персоналом	24	19,4
MS Excel (продвинутый уровень)	22	17,7
Ведение переговоров	20	16,1
Аналитическое мышление	18	14,5

На основе частотного анализа выделены следующие группы ключевых навыков для специалистов высшего уровня квалификации (группа 2):

- аналитические навыки: анализ данных, системный анализ, аналитическое мышление;
- управленческие навыки: управление проектами и персоналом, бизнес-планирование;
- стратегические навыки: стратегическое планирование, принятие решений;
- языковые навыки: английский язык (наиболее часто упоминаемый иностранный язык);
- технические навыки: MS Excel (продвинутый уровень), специализированное программное обеспечение (ПО) (в зависимости от отрасли).

Анализ частоты упоминания навыков в вакансиях группы 5 выявил наиболее востребованные навыки, которые приведены в табл. 3.

Таблица 3. Анализ частоты упоминания навыков в вакансиях группы 5
Table 3. Analysis of the frequency of mentioning skills in vacancies of group 5

Навык	Частота упоминания навыка	Показатель от вакансий группы 5, %
Электронные таблицы	34	43,6
Бухгалтерский учет	32	41,0
MS Office	28	35,9
Программа 1С	24	30,8
Деловая переписка	22	28,2
Телефонные переговоры	20	25,6
Работа с документами	18	23,1
CRM	16	20,5
Клиентоориентированность	15	19,2
Работа с кассой	14	17,9

На основе частотного анализа выделены следующие группы ключевых навыков для работников сферы обслуживания и торговли (группа 5):

- офисные навыки: MS Office, электронные таблицы, работа с документами;
- учетно-бухгалтерские навыки: бухгалтерский учет, 1С, работа с кассой;
- коммуникативные навыки: деловая переписка, телефонные переговоры, клиентоориентированность;
- организационные навыки: многозадачность, внимательность к деталям;
- специализированное ПО: CRM-системы, программы учета.

Анализ частоты упоминания навыков в вакансиях группы 7 выявил наиболее востребованные навыки, представленные в табл. 4.

Таблица 4. Анализ частоты упоминания навыков в вакансиях группы 7
Table 4. Analysis of the frequency of mentioning skills in vacancies of group 7

Навык	Частота упоминания навыка	Показатель от вакансий группы 7, %
Электромонтаж	46	29,5
Слесарные работы	40	25,6
Сварочные работы	36	23,1
Ремонт оборудования	34	21,8
Чтение чертежей	30	19,2
Обслуживание оборудования	28	17,9
Работа в команде	24	15,4
Электрика	22	14,1
Техника безопасности	20	12,8
Монтаж конструкций	18	11,5

На основе частотного анализа выделены следующие группы ключевых навыков для квалифицированных рабочих промышленности (группа 7):

- технические навыки: электромонтаж, слесарные и сварочные работы, электрика;
- навыки работы с оборудованием: ремонт и обслуживание оборудования;
- технические знания: чтение чертежей, понимание технических схем;

- навыки безопасности: техника безопасности, охрана труда;
- коммуникативные навыки: работа в команде, исполнительность.

Описание профиля группы 2: специалисты высшего уровня квалификации – профессиональная категория, требующая высокого уровня профессиональных знаний в области естественных, технических, общественных наук. Ключевые навыки включают аналитические способности, управление проектами и стратегическое планирование. Ключевые компетенции – аналитическое мышление и анализ данных, управленческие навыки, бизнес-планирование, стратегическое мышление, знание иностранных языков.

Описание профиля группы 5: работники сферы обслуживания и торговли – сотрудники, занятые в сфере торговли, оказания услуг, общественного питания. В этой группе наиболее востребованы навыки работы с офисными программами, ведения документооборота и обслуживания клиентов. Ключевые компетенции – работа с офисными программами, бухгалтерский учет, клиентоориентированность, деловая коммуникация, работа с документами.

Описание профиля группы 7: квалифицированные рабочие промышленности – специалисты, занятые ручным трудом на производстве и требующие специальной подготовки. Профессии этой группы требуют технических навыков, знания специализированного оборудования и инструментов. Ключевые компетенции – технические навыки (электромонтаж, слесарное дело), ремонт и обслуживание оборудования, чтение технической документации, выполнение сварочных работ, соблюдение техники безопасности.

Сравнение профилей навыков разных профессиональных групп (табл. 2–4) позволяет выделить следующие закономерности:

- специфичность навыков: большинство востребованных навыков (около 70 %) являются специфичными для конкретной профессиональной группы и редко встречаются в других группах;
- универсальные навыки: отдельные навыки универсальны и встречаются во всех трех группах, хотя и с разной частотой: работа в команде, внимательность к деталям, коммуникабельность, ответственность;
- технологические навыки: наблюдается тенденция к увеличению требований к технологическим навыкам во всех группах:
 - группа 2: продвинутые навыки анализа данных, использование специализированного ПО;
 - группа 5: знание CRM-систем, 1С, навыки работы с электронными таблицами;
 - группа 7: знание современного оборудования, понимание автоматизированных систем;
- соотношение мягких и твердых навыков:
 - группа 2: равномерное распределение с небольшим преобладанием мягких навыков;
 - группа 5: преобладание мягких навыков;
 - группа 7: преобладание твердых навыков.

Кластерный анализ навыков

Для специалистов высшего уровня квалификации (группа 2) выявлены устойчивые сочетания навыков, приведенных в табл. 5.

Таблица 5. Устойчивые сочетания навыков в вакансиях группы 2
Table 5. Stable skill combinations in group 2 vacancies

Навык 1	Навык 2	Коэффициент совместной встречаемости
Анализ данных	MS Excel	0,82
	Английский язык	0,74
Управление проектами	Бизнес-планирование	0,71
	Стратегическое планирование	0,68
Бизнес-планирование	Стратегическое планирование	0,65
Английский язык	Межкультурная коммуникация	0,61
	Знание международных стандартов	0,58
Межкультурная коммуникация	Ведение международных проектов	0,56

На основе корреляционного анализа взаимосвязей между навыками, представленного в табл. 5, проводился кластерный анализ с применением иерархического метода кластеризации. В табл. 5 показаны наиболее сильные парные взаимосвязи, полный анализ включал все выявленные корреляции между 42 навыками группы 2. Визуализация результатов кластерного анализа для этой группы в виде дендрограммы позволила выделить четыре основных кластера взаимодополняющих навыков:

- кластер 1: аналитико-технический – анализ данных, MS Excel (продвинутый уровень), системный анализ, SQL, Python/R, визуализация данных;
- кластер 2: управленческий – управление проектами и персоналом, ведение переговоров, управление изменениями, лидерские качества;
- кластер 3: стратегический – стратегическое планирование, бизнес-планирование, финансовый анализ, управление рисками, принятие решений;
- кластер 4: международный – английский язык, межкультурная коммуникация, ведение международных проектов, знание международных стандартов.

Для работников сферы обслуживания и торговли (группа 5) выявлены устойчивые сочетания навыков, перечисленные в табл. 6.

Таблица 6. Устойчивые сочетания навыков в вакансиях группы 5
Table 6. Stable skill combinations in group 5 vacancies

Навык 1	Навык 2	Коэффициент совместной встречаемости
Электронные таблицы	MS Office	0,88
Бухгалтерский учет	1С	0,84
Электронные таблицы	Бухгалтерский учет	0,72
Деловая переписка	Телефонные переговоры	0,70
MS Office	Работа с документами	0,68
Телефонные переговоры	Клиентоориентированность	0,66
Клиентоориентированность	CRM	0,63
Обслуживание клиентов	Решение конфликтных ситуаций	0,59

Анализируя данные, представленные в табл. 6, необходимо отметить, что все перечисленные навыки тесно взаимосвязаны, поскольку зачастую применяются в рамках одних и тех же должностей сферы обслуживания и торговли. Однако проведенный иерархический кластерный анализ всего массива навыков группы 5 (включая навыки, не вошедшие в табл. 6) позволил выявить три функционально различающихся кластера:

- кластер 1: административно-документационный – MS Office, электронные таблицы, работа с документами, деловая переписка, архивирование. Выделенные навыки объединяются высокими коэффициентами корреляции (0,68–0,88) и формируют функциональный блок, связанный с документооборотом;
- кластер 2: учетно-финансовый – бухгалтерский учет, 1С, работа с кассой, финансовая отчетность, расчет заработной платы. У данных навыков существует связь с кластером 1 через электронные таблицы (коэффициент 0,72 с бухгалтерским учетом), но они формируют отдельную функциональную группу со специфическими профессиональными компетенциями;
- кластер 3: клиентско-сервисный – телефонные переговоры, клиентоориентированность, CRM, обслуживание клиентов, решение конфликтных ситуаций. Данные навыки составляют третий функциональный блок, более тесно связанный с непосредственным взаимодействием с клиентами.

Для квалифицированных рабочих промышленности (группа 7) выявлены устойчивые сочетания навыков, представленные в табл. 7.

Таблица 7. Устойчивые сочетания навыков в вакансиях группы 7
Table 7. Stable skill combinations in group 7 vacancies

Навык 1	Навык 2	Коэффициент совместной встречаемости
Электромонтаж	Электрика	0,86
Слесарные работы	Ремонт оборудования	0,80
	Слесарные работы	0,75
Чтение чертежей	Ремонт оборудования	0,72
Обслуживание оборудования		0,69
Электромонтаж	Чтение электросхем	0,65
Монтаж электрооборудования	Подключение электроприборов	0,62
Сварочные работы	Монтаж конструкций	0,58
Работа с металлом	Газосварка	0,55
Чтение чертежей	Техника безопасности	0,53
Понимание технических документов	Работа по регламентам	0,51

Кластерный анализ навыков группы 7 был проведен с использованием метода иерархической кластеризации на полном массиве данных, включающем все выявленные в вакансиях навыки. В табл. 7 представлены наиболее сильные парные взаимосвязи (с коэффициентом совместной встречаемости более 0,5), которые послужили основой для формирования для группы 7 четырех кластеров взаимодополняющих навыков:

- кластер 1: электротехнический – электромонтаж, электрика, чтение электросхем, монтаж электрооборудования, подключение электроприборов;
- кластер 2: механико-слесарный – слесарные работы, ремонт и обслуживание оборудования, работа с инструментами, механика;
- кластер 3: сварочно-монтажный – сварочные работы, монтаж конструкций, работа с металлом, газосварка, электросварка;
- кластер 4: технико-документационный – чтение чертежей, техника безопасности, понимание технических документов, составление отчетов о работе, работа по регламентам.

Результаты исследований

Анализ полученных результатов исследований показал четкую дифференциацию требований к навыкам в разных профессиональных группах, что отражает специфику деятельности в каждой сфере. Во всех профессиональных группах 2, 5 и 7 наблюдается рост требований к технологическим и цифровым навыкам, что свидетельствует о цифровой трансформации рынка труда. Выявленные кластеры взаимодополняющих навыков позволяют определить основные компетентностные профили в каждой профессиональной группе. Анализ взаимосвязей между навыками выявил устойчивые сочетания компетенций, которые часто требуются вместе, что важно для формирования образовательных программ. По результатам исследований предлагаются следующие рекомендации:

- для системы образования:
 - адаптировать образовательные программы с учетом выявленных кластеров взаимодополняющих навыков;
 - усилить обучение технологическим навыкам во всех профессиональных направлениях;
 - разрабатывать междисциплинарные программы, учитывающие взаимосвязи между навыками;
- для соискателей рабочих мест:
 - развивать компетенции с учетом выявленных взаимосвязей между навыками;
 - фокусироваться на развитии ключевых навыков, характерных для целевой профессиональной группы;
 - дополнять профессиональные навыки универсальными компетенциями;

- для работодателей:
 - формировать требования к кандидатам с учетом выявленных кластеров взаимодополняющих навыков;
 - разрабатывать программы профессионального развития сотрудников, основываясь на анализе взаимосвязей между навыками;
 - учитывать комплексный характер компетенций при оценке персонала.

Заключение

1. Проведенный анализ профессиональных навыков в вакансиях Витебского региона позволил сформировать детальное представление о требованиях рынка труда к навыкам работников разных профессиональных групп. Выявленные профили навыков и кластеры взаимодополняющих компетенций могут служить основой для принятия решений в области развития человеческого капитала региона, профессионального образования и управления талантами в организациях.

2. Дальнейшие исследования могут быть направлены на отслеживание динамики изменения требований к навыкам во времени, сравнительный анализ требований к навыкам в разных регионах, на углубленное изучение взаимосвязей между навыками с использованием более сложных методов анализа данных.

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

4. 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.

Список литературы

1. 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. <https://doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-4-23-32>.
2. Vankevich, A. V. Digitalisation and Jobs: The Case of Organisations in the Vitebsk Area of Belarus / A. V. Vankevich, I. N. Kalinouskaya // *Journal of New Economy*. 2024. Vol. 25, No 4. P. 106–126. DOI: 10.29141/2658-5081-2024-25-4-6.
3. Маковская, Н. В. Современные особенности функционирования рынка труда в Беларуси / Н. В. Маковская. Могилев: Могилев. гос. ун-т имени А. А. Кулешова, 2020.
4. Vankevich, A. Better Understanding of the Labour Market Using Big Data / A. Vankevich, I. Kalinouskaya // *Ekonomia i Prawo. Economics and Law*. 2021. Vol. 20, No 3. P. 677–692. DOI: 10.12775/EiP.2021.040.
5. Калиновская, И. Н. Развитие управления человеческими ресурсами организации в условиях цифровизации экономики: методология, теория, практика / И. Н. Калиновская. Витебск: Витебск. гос. технол. ун-т, 2024.
6. Калиновская, И. Н. Методическое обеспечение управления человеческими ресурсами организации в современных условиях / И. Н. Калиновская. Витебск: Витебск. гос. технол. ун-т, 2025.
7. Barcaroli, G. Internet as Data Source in the Istat Survey on ICT in Enterprises / G. Barcaroli, A. Nurra, S. Salamone // *Austrian Journal of Statistics*. 2015. Vol. 44, No 2. P. 31–43. DOI: 10.17713/ajs.v44i2.53.
8. Bakaev, M. Prospects and Challenges in Online Data Mining: Experiences of Three-Year Labour Market Monitoring Project / M. Bakaev, T. Avdeenko // *Lecture Notes in Computer Science*. 2016. Vol. 9714. P. 15–23. DOI: 10.1007/978-3-319-40973-3_2.
9. Gan, C. Application of LLM Agents in Recruitment: A Novel Framework for Resume Screening / C. Gan, Q. Zhang, T. Mori // *Journal of Information Processing*. 2024. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2401.08315>.
10. Erdem, M. E. Automatic Resume Screening with Content Matching / M. E. Erdem // 2023 8th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK). 2023. P. 554–558.

Поступила 17.03.2025

Принята в печать 22.04.2025

Доступна на сайте 10.07.2025

References

1. 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. <https://doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-4-23-32> (in Russian).

2. Vankevich A. V., Kalinouskaya I. N. (2024) Digitalisation and Jobs: The Case of Organisations in the Vitebsk Area of Belarus. *Journal of New Economy*. 25 (4), 106–126. DOI: 10.29141/2658-5081-2024-25-4-6.
3. Makovskaya N. V. (2020) *Modern Features of the Functioning of the Labor Market in Belarus*. Mogilev, Mogilev State A. Kuleshov University (in Russian).
4. Vankevich A., Kalinouskaya I. (2021) Better Understanding of the Labour Market Using Big Data. *Ekonomia i Prawo. Economics and Law*. 20 (3), 677–692. DOI: 10.12775/EiP.2021.040.
5. Kalinouskaya I. N. (2024) *Development of Human Resource Management of an Organization in the Context of the Digitalization of the Economy: Methodology, Theory, Practice*. Vitebsk, Vitebsk State Technological University (in Russian).
6. Kalinouskaya I. N. (2025) *Methodological Support for Human Resource Management of an Organization in Modern Conditions*. Vitebsk, Vitebsk State Technological University (in Russian).
7. Barcaroli G., Nurra A., Salamone S. (2015) Internet as Data Source in the Istat Survey on ICT in Enterprises. *Austrian Journal of Statistics*. 44 (2), 31–43. DOI: 10.17713/ajs.v44i2.53.
8. Bakaev M., Avdeenko T. (2016) Prospects and Challenges in Online Data Mining: Experiences of Three-Year Labour Market Monitoring Project. *Lecture Notes in Computer Science*. 9714, 15–23. DOI: 10.1007/978-3-319-40973-3_2.
9. Gan C., Zhang Q., Mori T. (2024) Application of LLM Agents in Recruitment: A Novel Framework for Resume Screening. *Journal of Information Processing*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2401.08315>.
10. Erdem M. E. (2023) Automatic Resume Screening with Content Matching. *2023 8th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK)*. 554–558.

Received: 17 March 2025

Accepted: 22 April 2025

Available on the website: 10 July 2025

Сведения об авторе

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

Адрес для корреспонденции

210039, Республика Беларусь,
Витебск, просп. Московский, 72
Витебский государственный
технологический университет
Тел.: +375 29 515-92-21
E-mail: i-kalinovskaya@yandex.by
Калиновская Ирина Николаевна

Information about the author

Kalinouskaya I. N., Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor at the Department of Economics and Business Management, Vitebsk State Technological University

Address for correspondence

210039, Republic of Belarus,
Vitebsk, Moskovsky Ave., 72
Vitebsk State
Technological University
Tel.: +375 29 515-92-21
E-mail: i-kalinovskaya@yandex.by
Kalinouskaya Iryna Nikolaevna



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-2-32-40>

УДК 378.33.004.8

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ

О. В. ГУЛИНА

Белорусский государственный экономический университет (Минск, Республика Беларусь)

Аннотация. Рассмотрена целесообразность изучения искусственного интеллекта в экономических вузах Республики Беларусь. Сформулированы предпосылки к изучению технологий искусственного интеллекта. Приведено обоснование необходимости введения в содержание подготовки будущих специалистов экономического профиля тематики, связанной как с теоретическими основами искусственного интеллекта, так и с возможностями его практического применения для решения прикладных задач в области экономики и менеджмента. На примере специальности «Экономика и управление» профилизации «Экономика и управление на предприятии промышленности» сформулированы предложения по внесению изменений в учебный план и содержание учебных дисциплин, направлены на формирование у обучающихся необходимых компетенций в области искусственного интеллекта для осуществления профессиональной деятельности в условиях цифровой трансформации экономики. Выделены ключевые проблемы, препятствующие практической реализации обозначенных изменений, сформулированы первоочередные задачи для достижения поставленной цели, предложены пути их решения.

Ключевые слова: искусственный интеллект, интеллектуальная обработка данных, профессиональные компетенции, специалисты экономического профиля.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Гулина, О. В. Искусственный интеллект в подготовке специалистов экономического профиля / О. В. Гулина // Цифровая трансформация. 2025. Т. 31, № 2. С. 32–40. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-2-32-40>.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE TRAINING OF ECONOMIC SPECIALISTS

OLGA V. GULINA

Belarus State Economic University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. The article considers the feasibility of studying artificial intelligence in economic universities of the Republic of Belarus. The prerequisites for studying artificial intelligence technologies are formulated. The rationale for the need to introduce topics related to both the theoretical foundations of artificial intelligence and its potential for practical application for solving applied problems in the field of economics and management into the content of training future specialists in economics is provided. Using the example of the specialty “Economics and Management” of the profile “Economics and Management at an Industrial Enterprise”, proposals are formulated for amending the curriculum and content of academic disciplines aimed at developing the necessary competencies in the field of artificial intelligence in students for carrying out professional activities in the context of digital transformation of the economy. The key problems that hinder the practical implementation of the designated changes are identified, priority tasks for achieving the goal are formulated, and ways to solve them are proposed.

Keywords: artificial intelligence, intelligent data processing, professional competencies, economic specialists.

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

For citation. Gulina O. V. (2025) Artificial Intelligence in the Training of Economic Specialists. *Digital Transformation*. 31 (2), 32–40. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-2-32-40> (in Russian).

Введение

Актуальным вопросам применения технологий искусственного интеллекта (ИИ) в высшем образовании посвящены работы многих отечественных и зарубежных авторов, в которых исследуются перспективы использования ИИ для организации учебного процесса, управления вузом и преподавания, включая возможности построения индивидуальных траекторий обучения и создания адаптивного персонализированного образовательного контента, мотивацию к обучению и повышение вовлеченности обучающихся в учебный процесс. Так, в [1–6] обсуждаются подходы к оценке эффективности внедрения ИИ в систему высшего образования.

Применение технологий ИИ приводит к трансформации традиционных ролей участников образовательного процесса [7], изменяя базовые принципы взаимодействия обучаемого и обучающего, что, в свою очередь, порождает социально-психологические и нравственные риски внедрения подобных технологий [8, 9]. Вопросы целесообразности использования ИИ как приоритетного способа передачи знаний в условиях цифровизации образовательной среды подробно исследованы в [10]. Вместе с тем, ИИ стремительно расширяет возможности своего применения в различных областях, вследствие чего спектр направлений исследований, связанных с перспективами его использования, в том числе в высшем образовании, весьма широк. Знание основ ИИ становится естественной потребностью как обучающихся, так и специалистов с высшим образованием, позволяя адаптироваться к новым технологиям и активно использовать их в учебной, научно-исследовательской и профессиональной деятельности.

Тенденции применения искусственного интеллекта в различных областях

Предпосылки к изучению ИИ в вузах экономического профиля Беларуси сформировались уже давно. В 2017 г. Декретом № 8 Президента Республики Беларусь «О развитии цифровой экономики» определен вектор развития экономики, который предусматривает проникновение ИИ в деятельность отдельных субъектов хозяйствования. В рамках решения задач по формированию и ускоренному развитию наукоемких и высокотехнологичных секторов национальной экономики Государственной программой инновационного развития Республики Беларусь на 2021–2025 гг., утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 7 июля 2020 г. № 493, предусматриваются внедрение аппаратных и программных решений на основе ИИ, а также интеграция технологий ИИ в систему научно-технической информации.

В целях внедрения информационно-коммуникационных и передовых производственных технологий в отрасли национальной экономики и сферы жизнедеятельности общества в Республике Беларусь успешно реализуется Государственная программа «Цифровое развитие Беларуси» на 2021–2025 гг., в которой ИИ рассматривается как одна из важнейших технологий для достижения поставленной цели и решения ключевых задач. Так, подпрограмма «Цифровое развитие государственного управления» предусматривает создание интеллектуальной автоматизированной системы обработки и анализа внутренних и внешних источников данных, включая создание интеллектуальных чат-ботов на официальных сайтах государственных органов, интеллектуальной платформы комплексного управления и мониторинга обстановки на государственной границе, интеллектуальной транспортной системы Республики Беларусь и др. Мероприятия подпрограммы «Цифровое развитие отраслей экономики» предусматривают не только цифровую трансформацию производственных процессов и процессов управления ими, в том числе посредством внедрения технологий ИИ (например, в рамках создания цифровых двойников, интеллектуальной обработки сенсорных данных от технологического оборудования, прогнозирования и подготовки аналитической информации для принятия управленческих решений и др.), но и обеспечение доступности образования, основанного на применении современных информационных технологий для подготовки граждан к жизни и работе в условиях цифровой экономики, что обуславливает необходимость внедрения ИИ не только как инструмента для организации образовательного процесса в вузе, но и в качестве содержательной составляющей учебных дисциплин учебных планов специальностей экономического профиля.

Согласно Концепции Национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь на период до 2035 г., ИИ выступает важной составляющей устойчивого экономического роста в условиях глобальной конкурентной борьбы за технологическое лидерство. Важным направле-

нием развития промышленности в ближайшие годы станет создание и развитие высокотехнологичных производств, основанных в том числе на системах искусственного интеллекта. Особое внимание уделяется цифровизации агропромышленного комплекса путем внедрения в сельскохозяйственное производство интеллектуальных систем и аппаратов, оснащенных ИИ. Технологии ИИ становятся неотъемлемой частью информационного общества с нарастающей тенденцией применения в различных областях, вследствие чего владение теоретическими аспектами и знаниями о возможностях практического применения ИИ должно в ближайшем будущем стать универсальной компетенцией специалиста с высшим экономическим образованием.

Прокомментируем сказанное на примере требований образовательного стандарта¹ общего высшего образования по специальности «Экономика и управление». Согласно документу, выпускник должен обладать универсальной компетенцией, предусматривающей владение навыками осуществления поиска, анализа и синтеза информации. Но сегодня традиционный поиск информации (по ключевым словам) благодаря активному внедрению технологий ИИ трансформируется в интеллектуальный поиск со встроенными функциями синтеза, повышающий релевантность результатов (например, интеллектуальный поиск «Яндекс Y2», Microsoft Bing, Google Search Generative Experience и др.), навыки использования которого необходимо формировать в процессе обучения в вузе. Также к числу универсальных компетенций выпускника названной выше специальности относятся умения и навыки осуществления коммуникаций на иностранном языке для решения задач межличностного и межкультурного взаимодействия, в которых применение ИИ открывает новые перспективы для создания практически безбарьерной мультязычной среды благодаря не только широким функциональным возможностям хорошо известных общедоступных систем перевода (например, «Яндекс Переводчик», Google Translate, Bing Translator, PROMT.Online Translator, DeepL Translate, Reverso и др.), но и качественно новой модели² ИИ, разработанной международной группой ученых, которая способна переводить со 101 языка на 36 языков по принципам speech-to-speech (синхронный голосовой перевод), speech-to-text (переводит речь в текстовый формат без воспроизведения звука), text-to-speech (преобразует текст на одном языке в голосовую речь на другом языке), text-to-text (переводит текст на другой язык без озвучивания), а также обладающей функцией автоматического распознавания речи. Таким образом, ИИ является важной составляющей формирования данной компетенции современного специалиста.

К базовым компетенциям выпускника специальности «Экономика и управление» относятся также навыки применения инструментария для количественной оценки производственно-хозяйственной деятельности организаций (предприятий), массовых социально-экономических явлений и процессов, выявления закономерностей их развития на основе анализа данных, в том числе с использованием информационно-коммуникационных технологий. Традиционные методы анализа и обработки данных позволяют получать значимые результаты с заданной точностью в том случае, если данные являются полными, достоверными и структурированными. В то же время задачи в области экономики и управления зачастую представляют собой сложные многокритериальные проблемы, основанные на полуструктурированных или неструктурированных данных разных типов, которые могут быть решены с помощью технологий ИИ, позволяющих принимать обоснованные решения в условиях неопределенности, неполных и/или противоречивых данных, выявлять скрытые закономерности в больших данных как с целью их применения для принятия управленческих решений, так и для обнаружения возможных рисков и выявления мошеннических схем. Кроме этого, универсальной компетенцией выпускника специальности «Экономика и управление» является адаптация к изменениям в профессиональной деятельности, а ввиду перечисленных выше предпосылок к изучению ИИ очевидно, что эти изменения будут связаны в том числе с технологиями ИИ.

Вместе с тем использование ИИ при реализации профессиональной деятельности требует наличия определенных знаний у специалистов экономического профиля. Важно иметь представле-

¹ Об утверждении образовательного стандарта высшего образования по специальности ОСВО 6-05-0311-02-2023 «Экономика и управление»: постановление Министерства образования Республики Беларусь от 10 августа 2023 г. № 246.

² Joint Speech and Text Machine Translation for Up to 100 Languages // Nature. 2025. Vol. 637. P. 587–593. <https://www.nature.com/articles/s41586-024-08359-z>.

ние об ИИ, о его возможностях, понимать общие принципы работы ИИ, уметь интерпретировать результаты, которые предоставляет ИИ. С этой точки зрения видится целесообразным введение в учебные планы экономических специальностей общеобразовательной учебной дисциплины, направленной на формирование у обучающихся компетенций в области основ ИИ и тенденций его развития. В результате ее освоения обучающиеся смогут ознакомиться с доступными онлайн-сервисами и платформами, предоставляющими возможности работы с технологиями ИИ (например, решения от OpenAI, DeepSeek, Google, Microsoft, Amazon, лабораторий «Сбербанка России», Yandex и др.), приобретут универсальные навыки по работе с ИИ, такие как подготовка необходимых данных для прогнозного моделирования и получения интеллектуальной аналитики, автоматического анализа цифровой, текстовой, графической и мультимедийной информации, оценка надежности полученного с помощью ИИ результата и др. Наряду с перечисленным, важно сформировать у обучающихся критическое отношение к цифровому контенту, привить навыки соблюдения так называемой цифровой гигиены, этических и правовых норм при использовании ИИ, что позволит им в будущем более осознанно применять технологии ИИ на практике, нести ответственность за полученные результаты, минимизировать возможные риски и негативные последствия.

Известно, что, с одной стороны, ИИ способен обнаруживать мошеннические схемы, устранять уязвимости в системе безопасности, а с другой – технологии ИИ выступают инструментом, позволяющим реализовывать технологии обмана, среди которых следует отметить стремительно распространяющиеся реалистичные дипфейки (ложный контент, который генерируется с помощью ИИ, включая фотоматериалы, видео и имитацию голоса, и выглядит весьма правдоподобно). Таким образом, приобретенные знания позволят обучающимся осуществлять безопасную жизнедеятельность в условиях цифровизации экономики и общества по принципу «предупрежден, значит вооружен», а также эффективно противостоять угрозам информационной безопасности, кибервымогательству и иным киберпреступлениям, статистика по которым за последние годы по всему миру неутешительная (так, по данным МВД Республики Беларусь, в 2024 г. киберпреступления составили четверть от всех правонарушений). Иными словами, изучение основ ИИ в обозначенном выше контексте позволит сформировать у обучающихся определенную резистентность к потенциально возможным киберпреступлениям, а в дальнейшем, возможно, предотвратит вовлечение будущих специалистов экономического профиля в противоправную деятельность.

С целью формирования представления о практическом применении ИИ в профессиональной деятельности и развития соответствующих навыков необходимо вводить в учебные программы дисциплин тематические разделы, посвященные возможностям ИИ для решения определенного круга прикладных задач. ИИ в сознании обучающихся должен стать инструментом, расширяющим и дополняющим возможности специалиста для эффективной работы в современных реалиях, повышающим оперативность реагирования на изменения и открывая новые перспективы в области экономики и управления. Уже сегодня технологии ИИ находят свое применение в различных отраслях народного хозяйства, активно используются в менеджменте [11], логистике [12], в управлении персоналом и маркетинге [13, 14], в других сферах.

Образовательным стандартом специальности «Экономика и управление» предусмотрено, что к базовой профессиональной компетенции выпускника относятся осуществление основных функций управления деятельностью организации, использование современных техник принятия управленческих решений и оценка эффективности управления. Вместе с тем технологии ИИ в настоящее время демонстрируют стабильно высокие результаты в области управления качеством продукции и корпоративными финансами (включая прогнозирование бюджетных рисков), управления производством, человеческими ресурсами и рисками, а также стратегического управления [15, 16]. Таким образом, освоение соответствующих технологий ИИ является необходимым для формирования актуальных и востребованных профессиональных компетенций специалистов для конкурентоспособной экономики.

В Республике Беларусь развивается инновационная и технологическая инфраструктура для использования ИИ, разрабатываются и внедряются прикладные решения на основе ИИ в области здравоохранения (например, нейросетевые программные комплексы для диагностики заболеваний легких и онкологических заболеваний, программное обеспечение для компьютерного

моделирования потенциальных лекарственных препаратов, ИИ-ассистенты для врачей, «умные» биометрические костюмы для реабилитации пациентов), автомобильной промышленности (решения для беспилотных автомобилей и автоматизации транспортно-логистических процессов и др.), ритейла (например, система для детекции, классификации, трекинга и сегментации товаров, облачный сервис для анализа размещения товаров на полках магазинов, терминалы самообслуживания, разработка программ лояльности на основе ИИ и др.), для агропромышленного комплекса (система идентификации и контроля физиологического состояния животных, автоматические сортировщики плодов на базе ИИ, автоматизированные системы выпаса скота, программные комплексы для высокотехнологичного оборудования, используемого в полевых условиях и др.), налоговых органов (для Министерства налогов и сборов Республики Беларусь введена в эксплуатацию система интеллектуальной обработки данных, с помощью которой создается необходимая аналитика и функционирует система управления рисками) и других сфер [17].

По результатам опроса³ представителей организаций реального сектора экономики Республики Беларусь, которые активно внедряют технологии ИИ, выделены ключевые преимущества и недостатки использования ИИ в организациях. Визуализация мнений респондентов в процентном отношении представлена на рис. 1 и 2 соответственно.

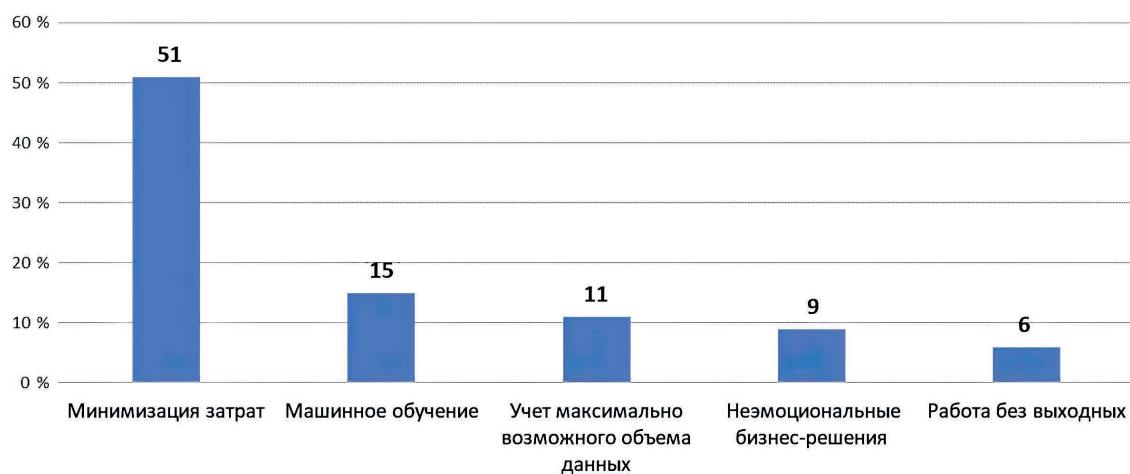


Рис. 1. Преимущества использования искусственного интеллекта в организациях Беларуси (по результатам опроса 530 топ-менеджеров компаний)

Fig. 1. Benefits of using artificial intelligence in Belarusian organizations (according to the results of a survey of 530 top managers of companies)



Рис. 2. Недостатки использования искусственного интеллекта в организациях Беларуси (по результатам опроса 530 топ-менеджеров компаний)

Fig. 2. Disadvantages of using artificial intelligence in Belarusian organizations (according to the results of a survey of 530 top managers of companies)

³ Часто ли бизнес в Беларуси использует искусственный интеллект [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ibmedia.by/news/chasto-li-biznes-v-belarusi-ispolzuet-iskusstvennyj-intellekt/>. Дата доступа: 20.02.2025.

Будущих специалистов экономического профиля необходимо знакомить с новейшими достижениями и разработками на основе ИИ в привязке к содержанию конкретных учебных дисциплин и обучать практическому применению соответствующих решений. К сожалению, в настоящий момент на пути реализации поставленной цели существуют объективные препятствия, среди которых можно выделить ограниченный доступ вузов экономического профиля к передовым технологиям ИИ, отсутствие подходящей материально-технической базы, недостаточную квалификацию профессорско-преподавательского состава в области ИИ и другие, которые требуют первоочередного решения. На первоначальном этапе реализации задачи по формированию у обучающихся экономического профиля соответствующих компетенций в области прикладного применения ИИ предлагается:

– внедрить ИИ в учебные планы специальностей экономического профиля, включая дисциплины компонента учреждения образования. Помимо упомянутой выше общеобразовательной учебной дисциплины, предусматривающей изучение основ ИИ, соответствующие разделы, посвященные ИИ в конкретной предметной области, должны найти свое отражение в учебных программах отдельных учебных дисциплин или модулей учебного плана специальности (профилизации). Так, для специальности «Экономика и управление» профилизации «Экономика и управление на предприятии промышленности» уместно ввести разделы, связанные с использованием ИИ, в учебные программы таких учебных дисциплин и модулей, как «Иностранный язык» (обоснование было приведено выше), «Информационные технологии» (для формирования представления о технической составляющей ИИ – нейронных сетях, машинном обучении), «Бухгалтерский учет» (применение ИИ для автоматизации рутинных задач по вводу данных, проверке счетов, расчету налогов, формированию финансовой отчетности, а также для выявления подозрительных финансовых операций), «Менеджмент организации» (применение ИИ для информационного обеспечения управления и принятия управленческих решений, организации командной работы), «Инвестиции и инновационное развитие организации» (возможности ИИ для получения прогнозной аналитики, управления рисками, разработки персонализированных инвестиционных стратегий), «Социология» (использование ИИ для моделирования социальных взаимодействий, прогнозирования социальных процессов, в том числе с помощью цифровых двойников), «Правовое обеспечение бизнеса» (демонстрация возможностей ИИ для составления договоров, прогнозирования и оценки судебных решений с последующим получением рекомендаций), «Организация производства и труда» и «Производственные технологии» (знакомство с возможностями ИИ в области предиктивного обслуживания оборудования, мониторинга и управления запасами, обнаружения производственных дефектов, производственного планирования, охраны труда, развития персонала), «Интеллектуальная техника менеджмента» (само название учебной дисциплины предусматривает овладение методами интеллектуальных техник менеджмента, технологиями управления индивидуальным и групповым поведением людей в организации, в том числе основанными на ИИ, а также развитие навыков решения управленческих задач посредством реализации инновационных подходов на основе ИИ), «Маркетинг» (примеры использования ИИ для описания продуктов или товаров, создания креативной рекламы, прогнозирования поведения клиентов, автоматизации общения с клиентами посредством чат-ботов, прогнозирования спроса, реализации персонализированных маркетинговых стратегий, анализа обратной связи от клиентов), «Обеспечение устойчивого развития и ресурсоэффективности организации» (использование ИИ для управления ресурсами и обеспечения устойчивого развития). Кроме того, прикладное значение технологий ИИ может найти отражение в таких учебных дисциплинах, как «Стратегический менеджмент», «Рекламный менеджмент», «Креативный менеджмент», «Экономическая безопасность» и др. Следует отметить, что применение ИИ в каждой учебной дисциплине является предметом отдельного исследования. При этом необходимо учитывать межпредметные связи и преемственность учебных дисциплин с целью исключения дублирования информации об использовании ИИ и вместе с тем формирования целостного представления о его возможностях в рамках освоения учебного плана профилизации соответствующей специальности. Необходимо также уделять внимание рискам и угрозам, которые могут возникать при использовании технологий ИИ;

– наладить взаимодействие с организациями и предприятиями реального сектора экономики, которые уже внедрили технологии ИИ для решения профессиональных задач и повышения эффективности деятельности, в том числе в рамках производственной практики и проведения выездных занятий;

– активизировать работу по участию обучающихся в научно-практических конференциях (в том числе в качестве слушателей), посвященных новейшим разработкам в области ИИ, которые могут быть использованы в экономике и управлении;

– расширить практику приглашения в вузы представителей белорусских компаний-разработчиков соответствующих продуктов на основе ИИ с целью знакомства обучающихся с перспективами их использования в будущей профессиональной деятельности;

– на постоянной основе организовывать посещение выставок и форумов (в том числе виртуальных), соответствующих профилю подготовки обучающихся, на которых представлены разработки на основе технологий ИИ;

– создать условия для повышения квалификации профессорско-преподавательского состава в области применения технологий ИИ в экономической сфере. В [18] акцентируется внимание на необходимости создания системы моральных и материальных стимулов для преподавателей, осуществляющих подготовку специалистов с соответствующими компетенциями в области ИИ.

Заключение

1. Реализация перечисленных мероприятий по формированию у обучающихся экономического профиля компетенций в области искусственного интеллекта не только обеспечит будущих выпускников актуальными знаниями, повышая их конкурентоспособность на рынке труда, расширяя перспективы трудоустройства в высокотехнологичных компаниях, но и будет способствовать повышению привлекательности вуза в мировом образовательном пространстве, что имеет особую значимость для развития экспорта образовательных услуг. Востребованность приобретаемых обучающимися знаний, умений и навыков, их соответствие мировым тенденциям в области искусственного интеллекта положительным образом сказываются на репутации высшего учебного заведения.

2. Привнося изменения в содержание подготовки специалистов экономического профиля, важно обеспечить разумное применение искусственного интеллекта для соблюдения баланса полезности и минимизации негативных последствий его использования, в том числе с целью недопущения возможной деградации обучаемого в части развития его когнитивных способностей и утраты «профессиональной дееспособности» в случае отсутствия доступа к технологиям искусственного интеллекта.

Список литературы

1. Лоскутова, М. А. Искусственный интеллект в высшем образовании – прорыв или деградация / М. А. Лоскутова // Экономические науки. 2024. № 3. С. 242–247. <https://doi.org/10.14451/1.232.242>.
2. Лукичев, П. М. Применение технологий искусственного интеллекта в образовании как потенциал экономического развития / П. М. Лукичев // Вестник Удмуртского университета. Серия «Экономика и право». 2024. Т. 34, № 3. С. 442–449. DOI: 10.35634/2412-9593-2024-34-3-442-449.
3. Иванченко, И. С. Оценка перспектив применения искусственного интеллекта в системе высшего образования / И. С. Иванченко // Science for Education Today. 2023. Т. 13, № 4. С. 170–194. DOI: 10.15293/2658-6762.2304.08.
4. Exploring Opportunities and Challenges of Artificial Intelligence and Machine Learning in Higher Education Institutions / V. Kuleto [et al.] // Sustainability. 2021. Vol. 13, No 18. <https://doi.org/10.3390/su131810424>.
5. Implementing Artificial Intelligence in Higher Education: Pros and Cons from the Perspectives of Academics / A. I. Pisica [et al.] // Societies. 2023. Vol. 13, No 5. <https://doi.org/10.3390/soc13050118>.
6. Implementing Artificial Intelligence in Higher Education: Pros and Cons from the Perspectives of Academics / L. Yufeia [et al.] // International Journal of Innovation, Creativity and Change. 2020. Vol. 12, Iss. 8. С. 548–562. DOI: 10.53333/IJICC2013/12850.
7. Геращенко, И. Г. Проблема экономической эффективности искусственного интеллекта в высшем образовании / И. Г. Геращенко, Н. В. Геращенко // Экономика образования. 2023. № 6. С. 4–11.

8. Малинецкий, Г. Г. Инновации, образование и искусственный интеллект в контексте гуманитарно-технологической революции / Г. Г. Малинецкий // Инновации. 2020. № 1. С. 3–11. DOI: 10.26310/2071-3010.2020.255.1.001.
9. Нуриахметова, Ф. М. Искусственный интеллект в образовании: гуманитарные вызовы и риски / Ф. М. Нуриахметова, В. Г. Холоднов // Вестник НЦ БЖД. 2023. № 4. С. 119–125.
10. Уколов, В. Ф. Управление искусственным интеллектом в сфере высшего образования в целях повышения качества знаний и снижения рисков обучения / В. Ф. Уколов, О. В. Трофименко // Вестник университета. 2023. № 5. С. 21–26. <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2023-5-21-26>.
11. Белова, Е. Ю. Трансформация систем менеджмента предприятий в контексте цифровизации / Е. Ю. Белова, М. О. Шевченко // E-Management. 2023. Т. 6, № 1. С. 17–28. DOI: 10.26425/2658-3445-2023-6-1-17-28.
12. Волкова, А. А. Эволюция цифровых технологий, используемых в логистике / А. А. Волкова, Ю. А. Никитин, В. А. Плотников // Управленческое консультирование. 2022. № 1. С. 76–83. <https://doi.org/10.22394/1726-1139-2022-1-76-83>.
13. Полякова, В. В. Трансформация системы формирования квалифицированных кадров в условиях цифровой экономики / В. В. Полякова, М. П. Почекутов, Е. А. Панова // Вестник университета. 2022. № 4. С. 26–33. <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2022-4-26-33>.
14. Новосельцева, Е. Г. Направления использования технологий искусственного интеллекта в HR-маркетинге и управлении персоналом / Е. Г. Новосельцева // Вестник Ростовского государственного университета (РИНХ). 2024. Т. 31, № 2. С. 75–85. DOI: 10.54220/v.rsue.1991-0533.2024.22.39.009.
15. Artificial Intelligence in Product Lifecycle Management / L. Wang [et al.] // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2021. Vol. 114. P. 771–796. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-06882-1>.
16. Artificial Intelligence in Business and Economics Research: Trends and Future / J. L. Ruiz-Real [et al.] // Journal of Business Economics & Management. 2021. Vol. 22, No 1. P. 98–117. <https://doi.org/10.3846/jbem.2020.13641>.
17. Витрина цифровых проектов Республики Беларусь [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://цифровые-проекты.бел/it-solutions/>. Дата доступа: 10.02.2025.
18. Абламейко, С. Искусственный интеллект в Беларуси – история и перспективы / С. Абламейко // Наука и инновации. 2022. № 5. С. 26–31.

Поступила 20.02.2025

Принята в печать 05.05.2025

Доступна на сайте 10.07.2025

References

1. Loskutova M. A. (2024) Artificial Intelligence in Higher Education – Breakthrough or Degradation. *Economic Sciences*. (3), 242–247. <https://doi.org/10.14451/1.232.242> (in Russian).
2. Lukichev P. M. (2024) Application of Artificial Intelligence Technologies in Education as a Potential for Economic Development. *Vestnik of Udmurt University. Series “Economics and Law”*. 34 (3), 442–449. DOI: 10.35634/2412-9593-2024-34-3-442-449 (in Russian).
3. Ivanchenko I. S. (2023) Evaluation of the Prospects of Application of Artificial Intelligence in the System of Higher Education. *Science for Education Today*. 13 (4), 170–194. DOI: 10.15293/2658-6762.2304.08 (in Russian).
4. Kuleto V., Ilić M., Dumangiu M., Ranković M., Martins O. M. D., Păun D. (2021) Exploring Opportunities and Challenges of Artificial Intelligence and Machine Learning in Higher Education Institutions. *Sustainability*. 13 (18). <https://doi.org/10.3390/su131810424>.
5. Pisica A. I., Edu T., Zaharia R. M., Zaharia R. (2023) Implementing Artificial Intelligence in Higher Education: Pros and Cons from the Perspectives of Academics. *Societies*. 13 (5). <https://doi.org/10.3390/soc13050118>.
6. Yufeia L., Salehb S., Jiahuic H., Syed S. M. (2020) Review of the Application of Artificial Intelligence in Education. *International Journal of Innovation, Creativity and Change*. 12 (8), 548–562. DOI: 10.53333/IJICC2013/12850.
7. Gerashchenko I. G., Gerashchenko N. V. (2023) The Problem of Economic Efficiency of Artificial Intelligence in Higher Education. *Economics of Education*. (6), 4–11 (in Russian).
8. Malinetskiy G. G. (2020) Innovations, Education and Artificial Intelligence in the Context of the Humanitarian and Technological Revolution. *Innovations*. (1), 3–11. DOI: 10.26310/2071-3010.2020.255.1.001 (in Russian).
9. Nuriakhmetova F. M., Kholodnov V. G. (2023) Artificial Intelligence in Education: Humanitarian Challenges and Risks. *Vestnik NTS BGD*. (4), 119–125 (in Russian).
10. Ukolov V. F., Trofimenko O. V. (2023) Artificial Intelligence Management in Tertiary Education in Order to Improve the Quality of Knowledge and Reduce the Risks of Learning. *Vestnik Universiteta*. (5), 21–26. <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2023-5-21-26> (in Russian).

11. Belova E. Yu., Shevchenko M. O. (2023) Transformation of Enterprise Management Systems in the Context of Digitalization. *E-Management*. 6 (1), 17–28. DOI: 10.26425/2658-3445-2023-6-1-17-28 (in Russian).
12. Volkova A. A., Nikitin Yu. A., Plotnikov V. A. (2022) Evolution of Digital Technologies Used in Logistics. *Management Consulting*. (1), 76–83. <https://doi.org/10.22394/1726-1139-2022-1-76-83> (in Russian).
13. Poliakova V. V., Pochekutov M. P., Panova E. A. (2022) Transformation of the System for Forming of Qualified Personnel in the Digital Economy. *Vestnik Universiteta*. (4), 26–33. <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2022-4-26-33> (in Russian).
14. Novoseltseva E. G. (2024) Directions of Using of Artificial Intelligence Technologies in HR-Marketing and Staff Management. *Vestnik of Rostov State University (RINH)*. 31 (2), 75–85. DOI: 10.54220/v.rsue.1991-0533.2024.22.39.009 (in Russian).
15. Wang L., Liu Z., Liu A., Tao F. (2021) Artificial Intelligence in Product Lifecycle Management. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 114, 771–796. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-06882-1>.
16. Ruiz-Real J. L., Uribe-Toril J., Torres J. A., De Pablo J. (2021) Artificial Intelligence in Business and Economics Research: Trends and Future. *Journal of Business Economics & Management*. 22 (1), 98–117. <https://doi.org/10.3846/jbem.2020.13641>.
17. *Showcase of Digital Projects of the Republic of Belarus*. Available: <https://цифровые-проекты.bel/it-solutions/> (Accessed 10 February 2025) (in Russian).
18. Ablameyko S. (2022) Artificial Intelligence in Belarus – History and Prospects. *Science and Innovations*. (5), 26–31 (in Russian).

Received: 20 February 2025

Accepted: 5 May 2025

Available on the website: 10 July 2025

Сведения об авторе

Гулина О. В., канд. физ.-мат. наук, доц., зам. декана факультета экономики и менеджмента, Белорусский государственный экономический университет

Адрес для корреспонденции

220070, Республика Беларусь,
Минск, просп. Партизанский, 26
Белорусский государственный
экономический университет
Тел.: +375 17 209-78-29
E-mail: gulina@bseu.by
Гулина Ольга Валериевна

Information about the author

Gulina O. V., Cand. Sci. (Phys. and Math.), Associate Professor, Vice Dean of the Faculty of Economics and Management, Belarus State Economic University

Address for correspondence

220070, Republic of Belarus,
Minsk, Partizanski Ave., 26
Belarus State
Economic University
Tel.: +375 17 209-78-29
E-mail: gulina@bseu.by
Gulina Olga Valerievna



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-2-41-51>

УДК 372.8

НАНОТЕХНОЛОГИЯ И ДОПОЛНЕННАЯ РЕАЛЬНОСТЬ КАК ОСНОВЫ ВИРТУАЛИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА ПРИ ОБУЧЕНИИ

В. В. БЕЛЯЕВ^{1,2}, Т. Н. ГРАНЬ, А. А. ЗОРИНА³, В. Г. КОСТЯКОВА¹, М. В. ШЕВЧУК¹,
В. В. МИНЯЙЛОВ⁴, В. А. ЧЕРТОПОЛОХОВ⁴

¹Государственный университет просвещения (Москва, Российская Федерация)

²Российский университет дружбы народов (Москва, Российская Федерация)

³Школа № 760 имени А. П. Маресьева (Москва, Российская Федерация)

⁴Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова (Москва, Российская Федерация)

Аннотация. Рассмотрены теоретические и практические аспекты применения технологий виртуальной и дополненной реальности (VR/AR) в образовательном процессе. Проанализирован потенциал этих технологий для совершенствования образования, особенно в условиях необходимости дистанционного обучения. Выделены ключевые преимущества VR/AR-технологий: визуализация сложных научных концепций, доступ к виртуальным моделям дорогостоящего оборудования, безопасность при работе с потенциально опасными объектами, повышение вовлеченности обучающихся. Приведен практический опыт внедрения VR/AR-технологий в образовательный процесс Государственного университета просвещения и Московского государственного университета на примере нескольких дисциплин: разработка мобильного приложения дополненной реальности для изучения архитектуры компьютера в рамках курса информатики; создание виртуальных лабораторных работ по дисциплине «Введение в физику нанотехнологии»; программа дополнительного образования по технологиям виртуальной и дополненной реальности; применение AR для демонстрации 3D-моделей молекул на химическом факультете МГУ. Интеграция VR/AR-технологий в образовательный процесс способствует формированию у обучающихся современных компетенций, расширению содержания преподаваемых дисциплин и повышению эффективности обучения в целом.

Ключевые слова: виртуальная реальность, дополненная реальность, виртуализация, сфера образования, нанотехнологии, дистанционное обучение, образовательные технологии.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Нанотехнология и дополненная реальность как основы виртуализации образовательного материала при обучении / В. В. Беляев [и др.] // Цифровая трансформация. 2025. Т. 31, № 2. С. 41–51. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-2-41-51>.

NANOTECHNOLOGY AND AUGMENTED REALITY AS THE BASIS FOR VIRTUALIZATION OF EDUCATIONAL MATERIAL IN TRAINING

VICTOR V. BELYAEV^{1,2}, TATIANA N. GRAN, ALINA A. ZORINA³,
VICTORIA G. KOSTYAKOVA¹, MIKHAIL V. SHEVCHUK¹,
VLADIMIR V. MINYAILOV⁴, VIKTOR A. CHERTOPOLOKHOV⁴

¹State University of Education (Moscow, Russian Federation)

²RUDN University (Moscow, Russian Federation)

³School No 760 named after A. P. Maresyev (Moscow, Russian Federation)

⁴Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russian Federation)

Abstract. The article considers theoretical and practical aspects of using virtual and augmented reality (VR/AR) technologies in the educational process. The potential of these technologies for improving education is analyzed, especially in the context of the need for distance learning. The key advantages of VR/AR technologies are high-

lighted: visualization of complex scientific concepts, access to virtual models of expensive equipment, safety when working with potentially dangerous objects, and increased student engagement. The practical experience of introducing VR/AR technologies into the educational process of the State University of Education and Moscow State University is considered using the example of several disciplines: development of an augmented reality mobile application for studying computer architecture as part of a computer science course; creation of virtual laboratory works on the discipline “Introduction to the Physics of Nanotechnology”; additional education program in virtual and augmented reality technologies; use of AR to demonstrate 3D models of molecules at the Chemistry Department of Moscow State University. The integration of VR/AR technologies into the educational process contributes to the formation of modern competencies in students, expansion of the content of taught disciplines and improvement of the effectiveness of learning in general.

Keywords: virtual reality, augmented reality, virtualization, education, nanotechnology, distance learning, educational technologies.

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

For citation. Belyaev V. V., Gran T. N., Zorina A. A., Kostyakova V. G., Shevchuk M. V., Minyailov V. V., Chertopolokhov V. A. (2025) Nanotechnology and Augmented Reality as the Basis for Virtualization of Educational Material in Training. *Digital Transformation*. 31 (2), 41–51. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-2-41-51> (in Russian).

Введение

Переход к дистанционному обучению школьников и студентов во время пандемии вызвал необходимость изменения методик преподавания дисциплин, что обусловило увеличение доли технологий виртуальной и дополненной реальности (VR/AR) при проведении занятий. Подходы и требования к системам виртуальной и дополненной реальности рассматриваются ведущими учеными и специалистами в научных и научно-методических исследованиях, например, в докладе вице-президента группы в сфере виртуальной и дополненной реальности компании Google Клея Бейвора (Clay Bavor) «Подходы и требования к системам виртуальной/дополненной реальности», в статьях [1, 2]. На рис. 1 продемонстрировано соотношение различных видов реальности в мировой практике [1].

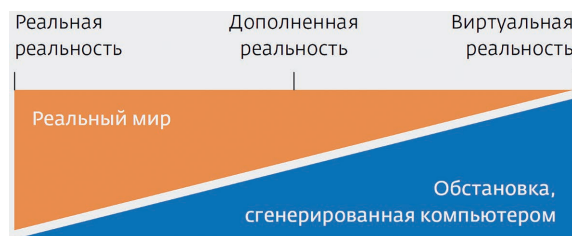


Рис. 1. Соотношение видов реальности
Fig. 1. Correlation of the reality types

Считается, что отсутствие непосредственного общения между преподавателем и обучающимися в школе или университете является существенным недостатком дистанционного обучения. Однако оно дает и ряд дополнительных преимуществ. Переход на дистанционное обучение, которое привело к увеличению доли VR/AR-технологий, позволяет существенно расширить содержание преподаваемых дисциплин и освоить обучающимися новые, ранее недоступные, компетенции. Проблемы виртуализации образования в условиях перехода на дистанционное преподавание обсуждаются и в работах зарубежных авторов [3–6]. Изучение возможности и целесообразности использования VR/AR-технологий в образовательном процессе требует уточнения определения основных понятий.

Под виртуальной реальностью (Virtual Reality, VR) понимают искусственно созданную компьютером трехмерную визуализированную среду, основанную на технологии компьютерной графики и видео в формате 360°, которая окружает пользователя и естественным образом реагирует на его действия, обычно с помощью иммерсивных дисплеев [7]. Портативные контроллеры обеспечивают распознавание жестов и отслеживание рук и тела, также может быть задействована тактильная (или сенсорная) обратная связь. Одним из примеров устройств, позволяющих обеспечивать данный вид реальности, является шлем виртуальной реальности Oculus Rift.

Дополненная реальность (Augmented Reality, AR) – это использование информации в режиме реального времени в виде текста, графики и звука, интегрированных с объектами реального мира. Именно применение элементов реального мира отличает дополненную реальность от виртуальной [8]. В сфере образования AR-технология позволяет применять в процессе обучения различные интерактивные книги, развивающие игры, обучающие приложения, моделирование объектов и ситуаций, а также приложения для тренировки навыков. Дополненная реальность имеет широкий набор доступных инструментов для повышения качества образования и уровня заинтересованности обучающихся к работе с новой технологией, обеспечивает безопасность работы с виртуальными учебными объектами [9, 10].

На уроках физики, информатики, химии, географии, биологии и других предметов применение различных AR-кубов и интерактивных игр позволяет изучать объекты и явления окружающего мира, что в реальных условиях могло быть недоступно или опасно. Например, использование AR-технологий целесообразно при изучении строения архитектуры компьютера или взаимодействия радиоактивных химических элементов, для визуализации сечения геометрических фигур, редких астрономических явлений и исторических событий. Применение набора трехмерных раскрасок, которые можно оживить с помощью мобильного приложения, позволит наглядно и интересно изучить строение биологической клетки на 3D-модели.

В статье обобщен подход к интеграции технологий виртуальной и дополненной реальности в образовательный процесс высшей школы при преподавании технических, естественнонаучных и педагогических дисциплин. Исследован педагогический потенциал VR/AR-технологий в контексте трансформации методов обучения, разработан комплексный подход к проектированию виртуальных лабораторных работ по нанотехнологии, создано специализированное приложение дополненной реальности для визуализации сложных технических объектов и оценки образовательной результативности разработанных подходов на основе педагогического эксперимента.

Новизна предлагаемого подхода заключается в применении методологии, позволяющей студентам не только использовать готовые VR/AR-решения, но и самостоятельно проходить полный цикл создания приложений дополненной реальности – от проектирования 3D-моделей до функционального мобильного приложения или тренажерной системы. Предложена междисциплинарная модель обучения, объединяющая компьютерные технологии и естественнонаучные дисциплины на единой VR/AR-платформе, что существенно обогащает содержание образования материалами ведущих мировых научных центров.

Описание предлагаемой образовательной методики

Рассмотрим использование элементов виртуальной и дополненной реальности на занятиях по дисциплинам «Программное обеспечение ЭВМ», «Архитектура вычислительных систем», «Облачные технологии в образовании», «Введение в физику нанотехнологии» и «Физика», изучаемым в Государственном университете просвещения. На начальном этапе целесообразно при изучении информатики сформировать у обучающихся знания и умения, необходимые для работы с соответствующими устройствами и со средствами разработки приложений для них. Студентам, заинтересованным в расширении знаний по информатике и получении современных представлений об устройстве информационных систем, предлагается разработать мобильное приложение на основе дополненной реальности. Данное приложение позволит, например, объединить в одном месте модели внутренних элементов персонального компьютера и их описание для дальнейшего изучения (рис. 2).

Разработка приложения состоит из нескольких этапов и подразумевает обширную работу обучающихся с трехмерным редактором (Blender, 3ds Max), игровым движком Unity, библиотекой работы с дополненной реальностью Vuforia, а также с интегрированными средами Visual Studio и Android Studio. Основное внимание уделяется принципам создания AR-меток и интерфейса пользователя, работе с библиотекой Vuforia, загрузке и использованию приложения на мобильном устройстве (рис. 3).

Дополнительные знания в области виртуальной и дополненной реальности, полученные на информатике, студенты могут применять при освоении других дисциплин. Широкое использование VR/AR-технологий возможно в процессе преподавания дисциплины «Введение в физику нанотехнологии».

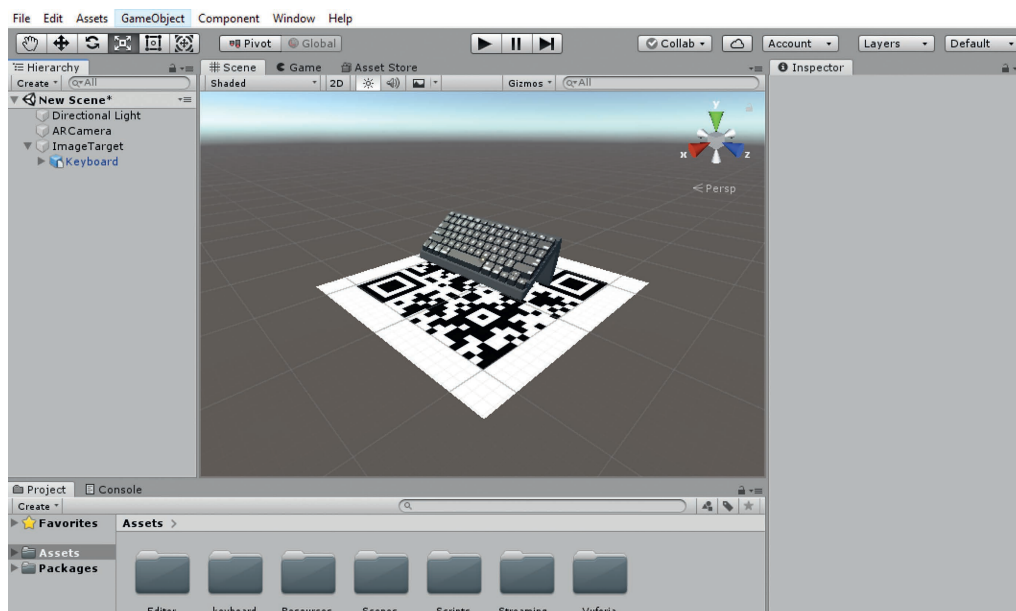


Рис. 2. Добавление 3D-модели
Fig. 2. 3D model adding

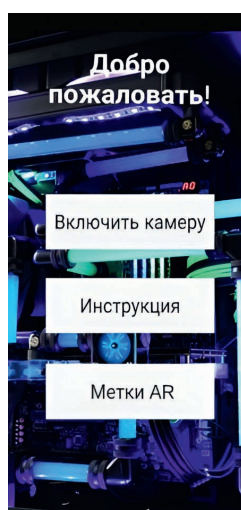


Рис. 3. Пример разработанного приложения
Fig. 3. Example of application developed

В очном формате обучения на занятиях в университете студенты физико-математического факультета Государственного университета просвещения работают с приборами учебно-научной лаборатории теоретической и прикладной нанотехнологии, осваивают методы измерений и сами выполняют измерения, обрабатывают полученные результаты. С учетом имеющегося не только в университете, но и в большинстве образовательных учреждений лабораторного оборудования акцент на занятиях делается в пользу извлечения информации о структуре и свойствах объектов на нанометровом масштабе. При анализе полученных результатов обсуждаются нанотехнологические методы измерений, соответствующее оборудование, применение наноструктурированных материалов. Но, по сути, лабораторная работа по данной дисциплине в таком виде является развитием обычного лабораторного практикума по общей физике.

Вынужденный переход на дистанционное обучение как школьников и студентов, так и преподавателей заставил последних пересмотреть содержание и формат обучения. Использование VR/AR-технологий позволило создать условия для знакомства обучающихся с самыми современными достижениями в области нанотехнологии и создания объектов нанотехнологии в процессе

изучения дисциплины «Введение в физику нанотехнологии» [11]. Для подготовки виртуальных студенческих лабораторных работ были использованы следующие темы:

- виды электронной и зондовой микроскопии;
- электронная оже-спектроскопия;
- рентгеновская флуоресцентная спектрометрия;
- вторично-ионная масс-спектрометрия (ВИМС);
- времяпролетная вторично-ионная масс-спектрометрия (ВП ВИМС);
- синхротронное излучение (СИ);
- лазер на свободных электронах (ЛСЭ).

При разработке лабораторных работ использовались современная литература, а также лекции ведущих специалистов России и зарубежных стран, статьи из ведущих международных журналов. Преподаватель дисциплины «Введение в физику нанотехнологии» профессор В. В. Беляев сам является одним из ведущих в России, СНГ и мире специалистов по данному направлению и на своих занятиях основывается на результаты исследований, полученные при общении с ведущими учеными на различных научных мероприятиях. Например, при освоении темы «Виды электронной и зондовой микроскопии» использовались материалы, изложенные в [12–14]. Для студентов были сформулированы задания, позволяющие ознакомиться с принципами работы приборов, их конструкцией, методам измерений. Значительная часть заданий предполагает обработку и анализ снимков различных нанообъектов (от технических до биологических), полученных разными известными методами. Студентами самостоятельно были освоены:

- методики зондовой микроскопии:
 - контактная атомно-силовая микроскопия (АСМ);
 - амплитудно-модуляционная АСМ;
 - АСМ-литография;
 - РПСМ – растровая прыжковая силовая микроскопия;
 - ЛСМ – латерально-силовая микроскопия;
 - СММ – силовая модуляционная микроскопия;
 - СМП – силовая микроскопия пьезоотклика;
 - ЭСМ – электростатическая силовая микроскопия;
 - КЗСМ – кельвин-зондовая силовая микроскопия;
 - МСМ – магнитно-силовая микроскопия;
 - СЕМ – сканирующая емкостная микроскопия.
 - СТМ – сканирующая туннельная микроскопия;
 - сканирующая термальная микроскопия;
 - отображение фототока;
 - АСМ-наноиндентирование;
 - электрохимические АСМ и СТМ;
- оптические методики:
 - конфокальная флуоресцентная микроскопия;
 - ближнепольная оптическая микроскопия;
 - лазерная конфокальная микроскопия;
 - флуоресцентная микроскопия;
 - микроскопия темного поля;
 - поляризационная микроскопия.

Для занятий по ВИМС использовались переработанные материалы лекции Л. Винса из Университета Осло (Норвегия). На их основе были составлены задания, в которых с помощью различных методов рассматривались количество вторичных ионов, выбиваемых первичными, пространственность изотопов элементов, потенциал ионизации, распознавание (селекция) частиц, имеющих практически одинаковую массу. На занятиях по ВП ВИМС изучались вопросы по материалам статьи из журнала [15], где наглядно представлено, на какие ионизированные фрагменты разбивается молекула лекарственного средства ванкомицин ($C_{66}H_{75}Cl_2N_9O_{24}$) при бомбардировке первичными ионами. Согласно [15], на рис. 4 показаны структурные формулы молекулы ванкомицина и вторично заряженных фрагментов, на которые молекула расщепляется пучком первичных ионов.

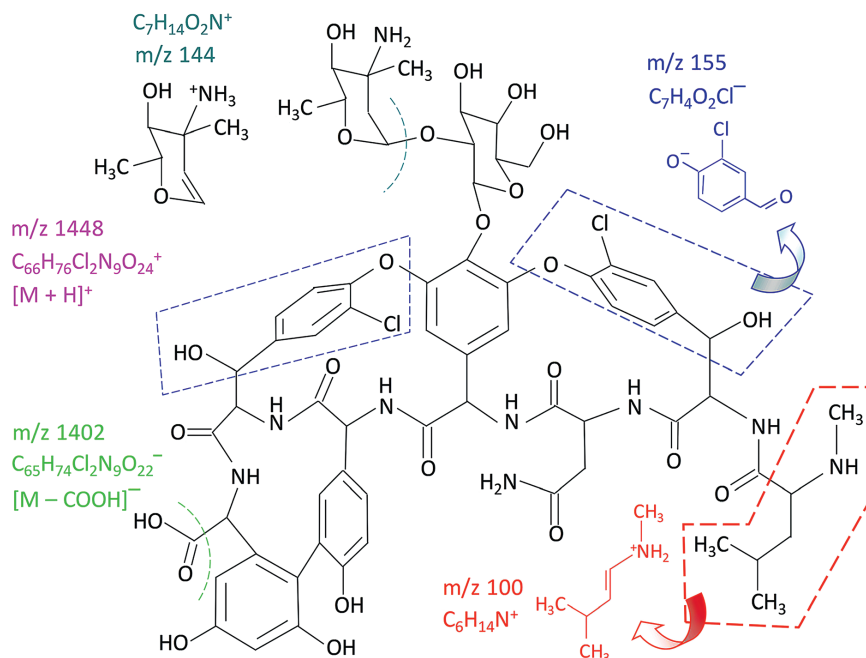


Рис. 4. Структурные формулы молекулы ванкомицина и вторично заряженных фрагментов
Fig. 4. Structural formulas of the vancomycin molecule and secondary charged fragments

На рис. 5 приведено количество отсчетов вторичных ионов различных фрагментов ванкомицина (интенсивность ионов) в зависимости от глубины проникновения первичного пучка. Кроме того, на рисунке показано распределение концентрации различных вторичных фрагментов ванкомицина по глубине при бомбардировке положительными ионами структуры с ванкомицином между слоями пиролитического графита (PLGA) на кремниевой подложке Si; даны изображения распределения фрагментов Cl^- (красный цвет) и $\text{C}_3\text{H}_3\text{O}_3^-$ (зеленый цвет) при глубинах 34, 103, 160 и 196 нм.

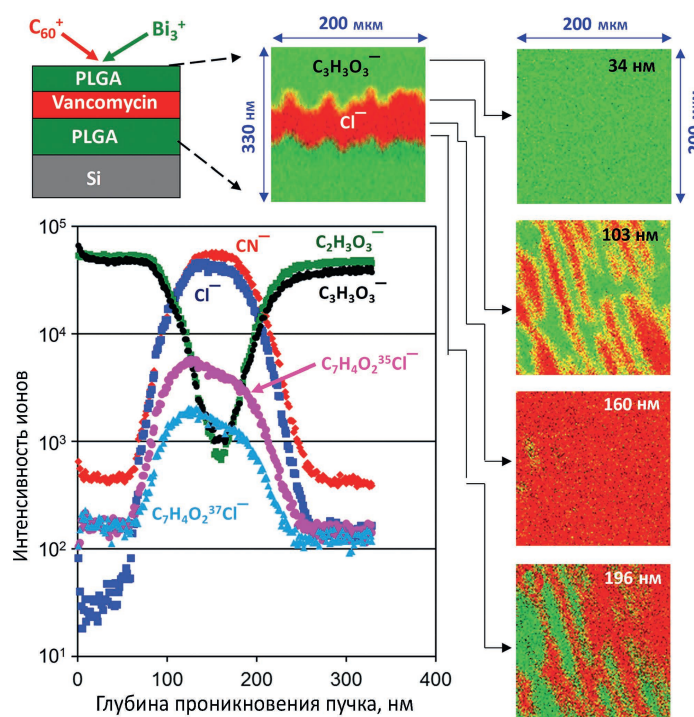


Рис. 5. Количество отсчетов вторичных ионов фрагментов ванкомицина (интенсивность ионов) в зависимости от глубины проникновения первичного пучка

Fig. 5. Number of secondary ion counts of vancomycin fragments (ion intensity) as a function of primary beam penetration depth

Кроме того, студентам Государственного университета просвещения на занятиях преподавались технологии СИ и ЛСЭ с использованием материалов лекции Дж. Фриша из национальной ускорительной лаборатории SLAC Стэнфордского университета (США). Если в обычном режиме преподавания есть возможность посетить сравнительно компактный центр синхротронного излучения Курчатовского института в Москве, то в дистанционном режиме только с использованием VR- и AR-технологий студенты могут присутствовать на другом конце Европы или в США, наблюдая установки длиной около 3,2 км (рис. 6) или ондуляторы для генерации СИ длиной 130 м с отклонением от прямолинейности 10 мкм (рис. 7). На рис. 6 приведено изображение линейного ускорителя частиц Linacs для генерации синхротронного излучения, расположенного в Стэнфордском ускорительном центре (США). Ускоритель можно использовать для лазера на свободных электронах. Характеристики ускорителя: низкая частота повторений, низкий средний ток (при комнатной температуре – 100 Гц); сверхпроводящий режим – частота от 10 кГц до 1 МГц; яркость пучка определяется источником электронов: типичный поперечник пучка 1 мкм по горизонтали и вертикали, показатель по продольному фазовому пространству – 5 мкм.



Рис. 6. Вид расположенного в Стэнфордском ускорительном центре (США) линейного ускорителя частиц Linacs для генерации синхротронного излучения
Fig. 6. View of the Linacs linear particle accelerator for generating synchrotron radiation located at the Stanford Accelerator Center (USA)

На рис. 7 показан ондулятор для генерации синхротронного излучения. Длина устройства составляет 130 м, отклонение траектории частиц от линейности – около 10 мкм.

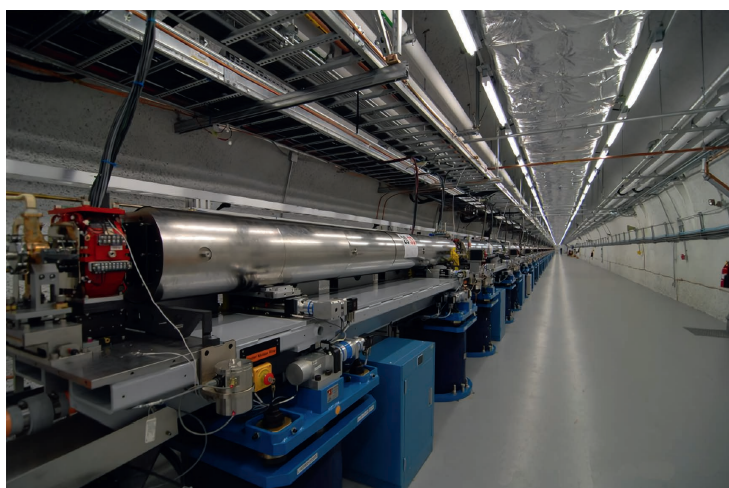


Рис. 7. Вид ондулятора для генерации синхротронного излучения
Fig. 7. Type of undulator for generating synchrotron radiation

Рассмотренная выше форма занятий предусматривает широкое применение VR/AR-технологий как преподавателями, так и студентами. Многие студенты с использованием этих технологий узнали принцип работы перечисленных измерительных приборов и установок. Им удалось виртуально проиллюстрировать процесс создания сложной микросхемы с десятками промежуточных технологических операций. Другим примером применения новых технологий является программа дополнительного образования «Технологии виртуальной и дополненной реальности», запущенная в 2020 г. в рамках Межфакультетского центра виртуальной реальности Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова (МГУ). Сочетание традиционных подходов на тренажерах и технологии дополненной реальности позволяет специалисту смоделировать ситуацию, максимально приближенную к реальности.

Алгоритмы тестирования, используемые в тренажерах, дают возможность непредвзято оценить действия человека в экстремальных условиях. Разработка тренажеров с применением VR/AR-технологий – это прикладная работа на стыке математики и биомедицины. Образовательная программа включает в себя знакомство с анатомией и физиологией вестибулярного и глазодвигательного аппарата человека, с показателями, помогающими оценить их совместную работу. Также изучаются методы создания имитационных сигналов, используемых в системах виртуальной реальности. Основные разделы курса включают описание общей структуры панорамной и компактной систем виртуальной реальности (рис. 8, 9), систем отслеживания движения и визуализации, динамического моделирования и гальванической стимуляции. Курс основан на семинаре по физике и механике, который преподается на механико-математическом факультете МГУ [16]. Одна из особенностей курса – изучение методов дополненной реальности в виртуальной среде, когда на виртуальное изображение накладывается дополнительная индикация.



Рис. 8. Панорамная система виртуальной реальности
Fig. 8. Panoramic virtual reality system



Рис. 9. Компактная система виртуальной реальности
Fig. 9. Compact virtual reality system

Задачи студентов включают изучение публикаций на тему виртуальной и дополненной реальности, реальных примеров применения технологий. Самопроверка может проводиться в виде коротких докладов о компаниях-разработчиках технологий и об их внедрении. Большой опыт использования технологии дополненной реальности накоплен на химическом факультете МГУ. В [17] рассматривается применение AR-технологий для наглядной демонстрации моделей молекул в процессе обучения химии [18]. Применение 3D-моделей и дополненной реальности, согласно [18], помогает студентам лучше понять пространственное строение молекул и связать его с их химическими свойствами, а AR-технологии повышают вовлеченность и мотивацию учащихся, способствуют развитию пространственного мышления.

Вышесказанное позволяет сделать вывод о том, что применение элементов VR/AR-технологий может являться эффективным инструментом для обучения различным дисциплинам. Это объясняется бесспорными преимуществами VR/AR-технологий там, где работа с реальными объектами может быть недостаточно безопасной, дорогостоящей или трудоемкой.

Заключение

1. Проведенное исследование демонстрирует возможности применения технологий виртуальной и дополненной реальности в образовательном процессе как эффективного инструмента для обучения различным дисциплинам, особенно в ситуациях, когда работа с реальными объектами недостаточно безопасна, дорогостояща или трудоемка. Разработанные подходы к созданию виртуальных лабораторных работ по нанотехнологии обеспечивают доступ студентов к изучению современных методов исследования наноструктур без необходимости использования дорогостоящего оборудования, а созданное программное обеспечение для визуализации архитектуры компьютера способствует формированию у студентов IT-направлений наглядного представления об изучаемых объектах.

2. Особую ценность имеет разработанная методология проектирования образовательных VR/AR-решений, которая включает создание трехмерных моделей, программирование приложений дополненной реальности и подходы к оценке их применения в учебном процессе. Междисциплинарный характер предлагаемых решений подтверждается применением VR/AR-технологий при изучении нанотехнологий, компьютерных наук, в биомедицинских исследованиях и химическом образовании, где 3D-модели молекул или биологических объектов способствуют лучшему пониманию их пространственного строения.

3. Представленный опыт может быть успешно адаптирован и в образовательной системе Республики Беларусь. Учитывая традиционно сильные позиции белорусских вузов в подготовке специалистов инженерного профиля, внедрение VR/AR-технологий может стать приоритетным направлением в техническом образовании. Перспективным представляется развитие межвузовского сотрудничества между образовательными учреждениями России и Беларуси для совместной разработки образовательных приложений.

4. Практическая значимость результатов заключается в возможности внедрения разработанных программных решений и методических материалов в образовательный процесс без значительных финансовых затрат. Апробация в условиях дистанционного обучения подтверждает применимость данного подхода для организации удаленного образовательного процесса и его потенциал для сокращения расходов на лабораторное оборудование.

5. Работа коллектива МГУ выполнена при поддержке Программы развития МГУ, проект научно-образовательной школы «Математические методы анализа сложных систем» № 23А-Ш05-05.

Список литературы

1. Беляев, В. В. Погружение в суперреальность. По результатам симпозиума SID 2014 / В. В. Беляев // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2014. № 6. С. 32–44.
2. Беляев, В. В. Дисплеи для военного применения: специфика отрасли, современные технологии и вектор развития / В. В. Беляев, Д. Суарес // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2017. № 6. С. 52–63. <https://doi.org/10.22184/1992-4178.2017.166.6.52.63>.
3. Huang, A. Teaching, Learning, and Assessment with Virtualization Technology / A. Huang // Journal of Educational Technology Systems. 2019. Vol. 47, No 4. P. 523–538. <https://doi.org/10.1177/0047239518812707>.
4. Ray, S. Virtualization of Science Education: A Lesson from the COVID-19 Pandemic / S. Ray, S. Srivastav // Journal of Proteins and Proteomics. 2020. Vol. 11. P. 77–80. <https://doi.org/10.1007/s42485-020-00038-7>.

5. Annappaiah, D. H. Virtualization Technologies and Techniques in Education Learning Applications / D. H. Annappaiah, V. K. Agrawal // World Academy of Science, Engineering and Technology. 2011. Vol. 59. P. 1824–1829.
6. Klement, M. Models of Integration of Virtualization in Education: Virtualization Technology and Possibilities of Its Use in Education / M. Klement // Computers & Education. 2017. Vol. 105. P. 31–43. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.11.006>.
7. LaValle, S. M. Virtual Reality / S. M. LaValle. UK: Cambridge University Press & Assessment, 2023.
8. Aukstakalnis, S. Practical Augmented Reality: A Guide to the Technologies, Applications, and Human Factors for AR and VR (Usability) / S. Aukstakalnis. USA: Addison-Wesley Professional Publ., 2016.
9. Иванова, А. В. Технологии виртуальной и дополненной реальности: возможности и препятствия применения / А. В. Иванова // Стратегические решения и риск-менеджмент. 2018. № 3. С. 88–107. <https://doi.org/10.17747/2078-8886-2018-3-88-107>.
10. Шевчук, М. В. Проектирование образовательного процесса на основе технологии виртуальной реальности / М. В. Шевчук, В. Г. Шевченко, А. А. Зорина // Информатика в школе. 2020. № 10. С. 19–31.
11. Введение в физику нанотехнологии / В. В. Беляев [и др.]. М.: Гос. ун-т просвещ., 2024. ISBN 978-5-7017-3461-4.
12. Быков, В. А. Нанотехнологии в современной науке: фестиваль науки МГОУ / В. А. Быков // Нанотехнологическое общество России и группа компаний «НТ-МДТ Spectrum Instruments». М., 2017.
13. Быков, В. А. Зондовая микроскопия и спектроскопия: приборы и методы для комплексного анализа поверхностных структур / В. А. Быков, В. В. Поляков // Нанотехнологии: Образование, Наука, Инновации: сб. ст. X Всерос. науч.-практ. конф. Курск: Курский государственный университет, 2019. С. 17–18.
14. Тодуа, П. Метрология и стандартизация в нанотехнологиях / П. Тодуа // Фотоника. 2010. № 1. С. 2–8.
15. Time-of-Flight Secondary Ion Mass Spectrometry Analyses of Vancomycin / L. Du [et al.] // Biointerphases. 2018. Vol. 13, No 3. <https://doi.org/10.1116/1.5016186>.
16. Новые задачи физико-математического практикума. Часть II. Тестирование качества сближения устройства спасения космонавта с международной космической станцией / В. В. Александров [и др.]. М.: Изд-во попеч. совета мех.-матем. ф-та МГУ, 2015.
17. Хребтова, С. Б. Дополненная реальность в обучении: наглядное и понятийное в демонстрации моделей молекул / С. Б. Хребтова, Е. В. Высоцкая, В. В. Миняйлов // Давыдовские чтения: сб. тез. участников II Междунар. науч.-практ. конф., 12–13 сент. 2022 г. М.: ФГБОУ ВО МГППУ, 2022. С. 275–278.
18. Примеры моделей кристаллических структур [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://p3d.in/u/crystal3d>. Дата доступа: 22.03.2025.

Поступила 16.01.2025

Принята в печать 28.03.2025

Доступна на сайте 10.07.2025

References

1. Belyaev V. V. (2014) Immersion into Superreality. Based on the Results of the SID 2014 Symposium. *Electronics: Science, Technology, Business*. (6), 32–44 (in Russian).
2. Belyaev V. V., Suarez D. (2017) Displays for Military Applications: Industry Specifics, Modern Technologies and Development Vector. *Electronics: Science, Technology, Business*. (6), 52–63. <https://doi.org/10.22184/1992-4178.2017.166.6.52.63> (in Russian).
3. Huang A. (2019) Teaching, Learning, and Assessment with Virtualization Technology. *Journal of Educational Technology Systems*. 47 (4), 523–538. <https://doi.org/10.1177/0047239518812707>.
4. Ray S., Srivastav S. (2020) Virtualization of Science Education: A Lesson from the COVID-19 Pandemic. *Journal of Proteins and Proteomics*. 11, 77–80. <https://doi.org/10.1007/s42485-020-00038-7>.
5. Annappaiah D. H., Agrawal V. K. (2011) Virtualization Technologies and Techniques in Education Learning Applications. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. 59, 1824–1829.
6. Klement M. (2017) Models of Integration of Virtualization in Education: Virtualization Technology and Possibilities of Its Use in Education. *Computers & Education*. 105, 31–43. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.11.006>.
7. LaValle S. M. (2023) *Virtual Reality*. UK, Cambridge University Press & Assessment Publ.
8. Aukstakalnis S. (2016) *Practical Augmented Reality: A Guide to the Technologies, Applications, and Human Factors for AR and VR (Usability)*. USA, Addison-Wesley Professional Publ.
9. Ivanova A. V. (2018) VR & AR Technologies: Opportunities and Application Obstacles. *Strategic Decisions and Risk Management*. (3), 88–107. <https://doi.org/10.17747/2078-8886-2018-3-88-107> (in Russian).
10. Shevchuk M. V., Shevchenko V. G., Zorina A. A. (2020) Designing the Educational Process Based on Virtual Reality Technology. *Informatics at School*. (10), 19–31 (in Russian).
11. Belyaev V. V., Chaurov D. N., Kurilov A. D., Burdanova M. G., Zverev N. V. (2024) *Introduction to Nanotechnology Physics: A Methodological Guide for Laboratory and Practical Work*. Moscow, State University of Education. ISBN 978-5-7017-3461-4 (in Russian).

12. Bykov V. A. (2017) Nanotechnology in Modern Science: Science Festival MRSU. *Nanotechnology Society of Russia and "NT-MDT Spectrum Instruments" Group of Companies*. Moscow (in Russian).
13. Bykov V. A., Polyakov V. V. (2019) Probe Microscopy and Spectroscopy: Instruments and Methods for Comprehensive Analysis of Surface Structures. *Nanotechnology: Education, Science, Innovation: Proceedings of the X All-Russian Scientific and Practical Conference*. Kursk, Kursk State University. 17–18 (in Russian).
14. Todua P. (2010) Metrology and Standardization in Nanotechnology. *Photonics*. (1), 2–8 (in Russian).
15. Lin Du, Xiaohui Yang, Wenqiang Li, Haoying Li, Shanbao Feng, Rong Zeng, et al. (2018) Time-of-Flight Secondary Ion Mass Spectrometry Analyses of Vancomycin. *Biointerphases*. 13 (3). <https://doi.org/10.1116/1.5016186>.
16. Aleksandrov V. V., Bugrov D. I., Kruchinina A. P., Lebedev A. V., Lemak S. S., Tikhonova K. V., et al. (2015) *New Problems of the Physical and Mathematical Practicum. Part II. Testing the Quality of Approach of the Cosmonaut Rescue Device to the International Space Station*. Moscow, Publishing House of the Board of Trustees of the Faculty of Mechanics and Mathematics of Moscow State University (in Russian).
17. Khrebtova S. B., Vysotskaya E. V., Minyaylov V. V. (2022) Augmented Reality in Education: Visual and Conceptual in Demonstrating Molecular Models. *Davydov Readings, Collection of Abstracts of Participants of the II International Scientific and Practical Conference, Sept. 12–13*. Moscow, MSUPE. 275–278 (in Russian).
18. *Examples of Crystal Structure Models*. Available: <https://p3d.in/u/crystal3d> (Accessed 22 March 2025) (in Russian).

Received: 16 January 2025

Accepted: 28 March 2025

Available on the website: 10 July 2025

Вклад авторов / Authors' contribution

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

Сведения об авторах

Беляев В. В., д-р техн. наук, проф., Государственный университет просвещения, Российский университет дружбы народов

Грань Т. Н., канд. пед. наук, доц., Государственный университет просвещения

Зорина А. А., школа № 760 имени А. П. Маресьева

Костякова В. Г., канд. пед. наук, доц., Государственный университет просвещения

Шевчук М. В., канд. физ.-мат. наук, доц., Государственный университет просвещения

Миняйлов В. В., канд. хим. наук, доц., Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова (МГУ)

Чертополохов В. А., канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр., МГУ

Адрес для корреспонденции

105005, Российская Федерация,
Москва, ул. Радио, 10А
Государственный университет просвещения
Тел.: +7 495 780-09-43
E-mail: vic_belyaev@mail.ru
Беляев Виктор Васильевич

Information about the authors

Belyaev V. V., Dr. Sci. (Tech.), Professor, State University of Education, RUDN University

Gran T. N., Cand. Sci. (Ped.), Associate Professor, State University of Education

Zorina A. A., School No 760 named after A. P. Maresyev

Kostyakova V. G., Cand. Sci. (Ped.), Associate Professor, State University of Education

Shevchuk M. V., Cand. Sci. (Phys. and Math.), Associate Professor, State University of Education

Minyailov V. V., Cand. Sci. (Chem.), Associate Professor, Lomonosov Moscow State University (LMSU)

Chertopolokhov V. A., Cand. Sci. (Phys. and Math.), Senior Researcher, LMSU

Address for correspondence

105005, Russian Federation,
Moscow, Radio St., 10A
State University of Education
Tel.: +7 495 780-09-43
E-mail: vic_belyaev@mail.ru
Belyaev Victor Vasilievich



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-2-52-58>

УДК 338.47:004 (476)

СОЗДАНИЕ ЕДИНОЙ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ КАК ФАКТОР ЦИФРОВИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНОЙ СФЕРЫ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Ю. П. ЯКУБУК

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

Аннотация. Цифровые транспортно-логистические платформы получают все большее распространение в мировой экономике, способствуя росту объемов поставок товаров и упрощению взаимодействия между грузоотправителями, грузополучателями, перевозчиками, государственными структурами и прочими участниками перевозочного процесса. Государственная программа «Цифровое развитие Беларуси» на 2021–2025 годы предусматривает разработку интеграционной платформы национальной системы электронной логистики. В статье рассмотрена разработка концептуальных положений создания Единой транспортно-логистической платформы Беларуси, включающих цели ее создания, принципы разработки и внедрения, основные элементы, необходимость учета и решения проблемных вопросов, обобщенный состав функциональных сервисов платформы. В отличие от представленных в белорусском информационном пространстве разработок цифровых транспортных платформ предлагается объединить на одной платформе всех участников транспортной отрасли Беларуси (транспортно-логистические компании и иные перевозчики, логистические центры, грузоотправители и грузополучатели, владельцы транспортных средств, пассажиры) и субъектов, непосредственно и опосредованно влияющих на процессы перевозки (государственные органы, автоматизированные информационные системы), а также обеспечить возможность интеграции с цифровыми платформами других стран (ЕАЭС, Китай).

Ключевые слова: экономика транспорта, транспортная система, цифровое развитие, цифровые транспортно-логистические платформы, Единая транспортно-логистическая платформа.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Якубук, Ю. П. Создание Единой транспортно-логистической платформы как фактор цифровизации транспортной сферы Республики Беларусь / Ю. П. Якубук // Цифровая трансформация. 2025. Т. 31, № 2. С. 52–58. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-2-52-58>.

CREATION OF A UNIFIED TRANSPORT AND LOGISTICS PLATFORM AS A FACTOR OF DIGITALIZATION OF THE TRANSPORT SECTOR OF THE REPUBLIC OF BELARUS

YULIYA P. YAKUBUK

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

Abstract. Digital transport and logistics platforms are becoming increasingly widespread in the global economy, contributing to an increase in the volume of supplies of goods and simplifying interaction between shippers, consignees, carriers, government agencies and other participants in the transportation process. The state program “Digital Development of Belarus” for 2021–2025 provides for the development of an integration platform for the national electronic logistics system. The article examines the development of conceptual provisions for the creation of the Unified Transport and Logistics Platform of Belarus, including the goals of its creation, principles of development and implementation, basic elements, the need to take into account and resolve problematic issues, and a generalized composition of the functional services of the platform. In contrast to the developments of digital transport platforms presented in the Belarusian information space, it is proposed to unite on one platform all participants of the Belarusian transport industry (transport and logistics companies and other carriers, logistics centers,

shippers and consignees, vehicle owners, passengers) and entities directly and indirectly influencing transportation processes (government agencies, automated information systems), as well as to ensure the possibility of integration with digital platforms of other countries (EAEU, China).

Keywords: transport economics, transport system, digital development, digital transport and logistics platforms, Unified transport and logistics platform.

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

For citation. Yakubuk Yu. P. (2025) Creation of a Unified Transport and Logistics Platform as a Factor of Digitalization of the Transport Sector of the Republic of Belarus. *Digital Transformation*. 31 (2), 52–58. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-2-52-58> (in Russian).

Введение

Современные транспортные системы характеризуются высоким уровнем технологического развития, одним из основных инструментов которого выступает цифровизация. Цель цифровизации – минимизация участия человека в управлении грузопотоками путем передачи его функций различным автоматизированным системам [1]. Вопросы цифровизации транспортной деятельности активно исследуются как в мире, так и в Республике Беларусь. Среди белорусских ученых, внесших наиболее значимый вклад в изучение процессов цифровизации на транспорте, можно выделить Р. Б. Ивутья, А. А. Ерофеева, О. В. Мясникову, Т. В. Пильгун, В. И. Сергеева, В. А. Медведева, А. А. Хорошевича.

Несмотря на активный интерес к данной тематике, многие аспекты цифровизации транспортной сферы еще не изучены. Большинство научных трудов сфокусированы на определении перспективных направлений цифровой трансформации транспортно-логистической системы, оценке уровня цифровизации транспортной отрасли и т. п. Основной проблемой остается низкий уровень связанности цифровых решений, внедряемых на различных сегментах транспортного комплекса.

Российские ученые отмечают, что во многих случаях отождествляются понятия интеллектуализации и цифровизации транспорта, имеющие тем не менее существенные различия. В отличие от интеллектуализации, цифровизация требует кардинально иной технологии транспортной связанности. В [2] констатируется, что современный транспорт еще не приблизился к цифровизации. Из всех видов транспорта максимально близко к цифровому рубежу подошел только трубопроводный; далее по убыванию степени готовности к цифровизации следуют железнодорожный, морской и автомобильный транспорт.

Положительное воздействие цифровизации транспортной деятельности на экономику и общество заключается в повышении уровня безопасности перевозок, оптимизации транспортных потоков и росте эффективности транспортной сферы, происходящих в результате сокращения времени на организацию перевозок, расширения возможностей планирования загрузки транспортной инфраструктуры, роста скорости перемещения грузов и пассажиров и состыковки транспорта, снижения действия человеческого фактора и соответственно количества ошибок, повышения качества предоставляемых услуг. Достижению данных позитивных эффектов, наряду с прочими мерами, может способствовать формирование цифровых транспортно-логистических платформ.

Цифровые платформы являются площадками цифрового взаимодействия между участниками перевозочного процесса и приобретают все большее значение не только в непосредственном осуществлении процесса перевозки, но и во вспомогательной и обслуживающей деятельности. Цифровые платформы обеспечивают прозрачность логистических процессов и упрощают ведение документооборота. Они выступают в качестве связующего звена, облегчающего взаимодействие потребителей и поставщиков, а также механизма упрощения процесса расчетов между ними. Ценность цифровых платформ заключается в предоставлении самой возможности обмена и в облегчении процедуры осуществления бизнес-процессов за счет алгоритмизации и повышения прозрачности [3]. Кроме того, в последнее время в рамках платформ внедряются или планируются к внедрению такие новые функции, как осуществление государственного контроля за перемещением транспорта и грузов, мониторинг инфраструктуры и параметров осуществления перевозок, организация контроля за здоровьем водителей и техническим состоянием транспорт-

ных средств. При этом платформы заметно отличаются по своему функционалу, наличию дополнительных сервисов, подходам к работе с контрагентами, возможностям проводить транзакции и прочим параметрам [4].

В Республике Беларусь востребованы частные цифровые платформы грузоперевозок (транспортные биржи) как белорусской разработки, так и иностранные. Кроме выполнения традиционной посреднической функции между грузоотправителями и грузоперевозчиками, их деятельность все больше направлена на автоматизацию бизнес-процессов и рост эффективности перевозок с помощью внедрения новейших информационных технологий и искусственного интеллекта. К отечественным транспортным биржам относятся белорусский портал грузоперевозок Transinfo.by, транспортно-информационная система transavto.by и др. [5].

Концептуальные основы создания

Единой транспортно-логистической платформы Беларуси

В современных условиях ключевая роль в развитии транспортной системы отведена ее цифровизации. В Беларуси также необходимо предусмотреть соответствующие меры по цифровизации транспортно-логистических процессов, развитию комплексных цифровых сервисов, созданию «умной» транспортной инфраструктуры и внедрению технологий искусственного интеллекта, формированию и развитию цифровых транспортных коридоров, развитию беспилотного транспорта. Реализации этих целей должно способствовать создание Единой транспортно-логистической платформы (ЕТЛП), необходимой для повышения уровня технической безопасности и взаимосвязанности элементов транспортно-логистической системы страны в условиях цифровизации.

Согласно Указу Президента Республики Беларусь от 29.11.2023 № 381 «О цифровом развитии», основным подходом в цифровизации страны до 2030 года станет создание и использование цифровых платформ¹. Транспорт является одной из приоритетных сфер внедрения данных платформ.

Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 2 февраля 2021 г. № 66 утверждена Государственная программа «Цифровое развитие Беларуси» на 2021–2025 годы, в которой в качестве одной из основных задач цифровизации транспортной деятельности предусмотрена разработка интеграционной платформы национальной системы электронной логистики. На первоначальном этапе ее формирования запланировано создание:

- сервисов по применению электронного протокола весогабаритного контроля и электронного протокола результатов проверки органами транспортного контроля, по обмену и контролю использования разрешений на международные автоперевозки;
- сервиса по проведению медицинского освидетельствования водителей автотранспортных средств дистанционно;
- сервиса по применению электронной международной транспортной накладной (для автомобильного транспорта);
- модуля трансграничного информационного обмена².

Таким образом, создание интеграционной платформы национальной системы электронной логистики (или ЕТЛП) Республики Беларусь в настоящее время находится в начальной стадии, и пока не определены сроки и этапы ее разработки и полномасштабного запуска.

Цифровые платформы (digital platform) – интегрированные информационные системы, обеспечивающие многосторонние взаимодействия пользователей по обмену информацией и ценностями, приводящие к снижению общих транзакционных издержек, оптимизации бизнес-процессов, повышению эффективности цепочки поставок товаров и услуг [6, с. 24]. Цифровые платформы предоставляют возможность доступа к ним участникам перевозочного процесса и других заинтересованных субъектов и обеспечивают коммуникацию по определенным алгоритмам в едином информационном пространстве, включая оформление электронных документов и обмен ими, получение необходимой информации и услуг, взаимодействие с органами управления.

¹ О цифровом развитии: Указ Президента Республики Беларусь от 29.11.2023 № 381 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://president.gov.by/ru/documents/ukaz-no-381-ot-29-noyabrya-2023-g>. Дата доступа: 07.09.2024.

² Государственная программа «Цифровое развитие Беларуси» на 2021–2025 годы: постановление Совета Министров Республики Беларусь от 2 февраля 2021 г. № 66 [Электронный ресурс] // Национальный правовой интернет-портал Республики Беларусь. Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100066>. Дата доступа: 08.06.2024.

Автоматизация любого, даже небольшого, отрезка логистического процесса положительно сказывается на всех участниках рынка. Поэтому важно стимулировать участников перевозочного процесса использовать имеющиеся на рынке технологии для оптимизации своей работы. Цифровизация может способствовать кратному увеличению транспортно-логистических потоков, однако один-единственный неоцифрованный этап транспортного процесса способен оказаться «узким перешейком», ограничивающим объем грузоперевозок. Именно такой этап будет задавать размерную рамку для всех типов грузов, а также устанавливать предел для эффекта от цифровизации для всех участников транспортного процесса. По этой причине цифровизация должна охватывать сразу все этапы процесса перевозки, включая деятельность грузоотправителя, перевозчика, грузополучателя, государственных органов и т. п. [7].

К основным целям создания ЕТЛП можно отнести:

- формирование и использование единого информационного пространства для обслуживания транспортной деятельности страны;
- реализацию мониторинга и контроля со стороны государственных органов за выполнением установленных условий и параметров перевозок;
- мониторинг состояния инфраструктуры и сопутствующих объектов;
- снижение временных затрат и стоимости доставки грузов, повышение уровня сохранности грузов и безопасности перевозок, рост предсказуемости транспортных процессов, сокращение складских запасов, возможность отслеживать действия контрагентов;
- рост производительности труда на транспорте;
- контроль состояния транспортного средства, соблюдения режима труда и отдыха водителя;
- совершенствование отраслевых стандартов, унификацию документооборота, улучшение планирования транспортных организаций и государственных органов;
- более полную реализацию потенциала транспорта в устойчивом социально-экономическом развитии.

Реализация данных целей позволит обеспечить функционирование и устойчивое развитие транспортного комплекса страны как эффективной, прозрачной и гибкой системы, характеризующейся высокой скоростью перевозок и минимальными рисками при их осуществлении. В качестве принципов разработки и внедрения ЕТЛП можно назвать следующие:

- принцип организации взаимодействия всех участников транспортной деятельности в едином информационном пространстве, включая государственные органы; обеспечение координации действий участников;
- принцип оптимального сочетания открытого и закрытого типов системы, способного привлекать неограниченное количество участников и пользователей, при этом ограничивая доступ определенных кругов пользователей к конфиденциальным сведениям, отдельным сервисам, функциям и компонентам платформы;
- принцип формирования юридически значимого цифрового документооборота на всех этапах осуществления перевозок, включая мультимодальные; обеспечение гарантий доверия в международном (трансграничном) обмене электронными документами. Введенные данные должны использоваться для автоматического заполнения документов и проведения других операций: финансовых расчетов, уплаты таможенных сборов и т. п.;
- принцип внедрения инструментов электронной идентификации для цифровой прослеживаемости движения грузов, пассажиров и цифровых активов, включая пломбы, метки, маркеры, трекары перемещения транспортных средств. Например, возможно введение электронного паспорта перевозки. Документ формируется зарегистрированным на цифровой платформе грузоотправителем и содержит все характеристики груза (наименование, вид транспорта, начальный и конечный пункты перевозки, сроки выполнения перевозки, стоимость и др.), каждой перевозке присваивается номер. У других участников перевозочного процесса появляется возможность отслеживания груза по номеру электронного паспорта перевозки, позволяя контролировать условия перемещения и сокращать время на оформление документов. Электронный паспорт перевозки может стать важнейшим инструментом формирования статистики перевозок по различным критериям (видам транспорта, направлениям перевозок, видам груза, сезонности) и контроля грузонапряженности отдельных транспортных направлений и узлов [8, с. 196];
- принцип обеспечения возможности непрерывного контроля с помощью систем телемедицины и устройств мониторинга за состоянием здоровья водителей транспортных средств и соблюдением ими режима труда и отдыха;

– возможность обмена электронными запросами как в рамках платформы, так и с другими цифровыми отраслевыми платформами. Это необходимо в связи с тем, что перевозочный процесс напрямую затрагивает другие сферы деятельности, такие как промышленность, строительство, торговля, здравоохранение, ликвидация последствий чрезвычайных ситуаций и пр.;

– принцип гибкости, т. е. способность системы адаптироваться к изменяющимся условиям и требованиям, возможность масштабируемости в зависимости от текущих потребностей и обновления используемых информационных технологий для управления потоками данных и автоматизации процессов;

– принцип совместимости (интероперабельности) национальной транспортно-логистической платформы с аналогичными платформами стран ЕАЭС. В рамках интеграционного объединения целесообразна разработка типовой платформы, стандартизированных форм сопроводительных и транспортных документов в цифровом формате, форматов передачи данных, инструментов мониторинга грузопотоков. При этом интеграция может быть настроена не только на уровне сервисов, но и на более высоком уровне – между платформами;

– возможность интеграции (частичной) с прочими международными информационными и информационно-управляющими системами, в том числе Евросоюза и стран Азии;

– принцип обеспечения эффективности функционирования системы, включающей высокое качество, точность, надежность при сопоставлении затрат на создание с получаемым эффектом, обеспечение учета, анализа и контроля функционирования системы.

На рис. 1 отражена концептуальная схема построения и осуществления взаимодействия в рамках ЕТЛП.

Взаимодействие между группами участников платформы (государственные органы, регулирующие структуры; участники транспортной деятельности и потребители транспортных услуг; внешние информационные системы; организации, оказывающие сопутствующие услуги) осуществляется как внутри самих групп, так и между ними. Создание ЕТЛП сопряжено с необходимостью решения следующих вопросов:

– разработка единых стандартов обмена данными, необходимых для обеспечения совместимости между различными информационными системами, упрощения процесса интеграции, снижения вероятности ошибок при передаче информации;

– подготовка и набор квалифицированных специалистов, отвечающих за разработку и обслуживание платформы;

– разработка рекомендаций по обучению пользователей ЕТЛП для всех групп участников;

– построение эффективной системы кибербезопасности в целях защиты от несанкционированного доступа и утечек данных;

– нормативно-правовое обеспечение функционирования ЕТЛП.

Заключение

Несмотря на определенные трудности, объединение вклада множества участников и формирование единой информационной среды транспортно-логистической деятельности страны позволят оптимизировать процессы перевозки, повысить уровень безопасности на магистралях, увеличить эффективность транспортной деятельности и международную конкурентоспособность участников перевозочного процесса, давая возможность использования юридически значимых электронных документов, определения оптимальных маршрутов и условий перевозки, упрощения процедур государственного контроля. Реализация Единой транспортно-логистической платформы обеспечит снижение операционных, административных и временных затрат перевозчиков, рост эффективности и безопасности работы транспорта, что будет способствовать экономическому развитию страны в целом.

Список литературы

1. Косарев, А. Б. Опережающее развитие железнодорожного транспорта с помощью цифровых технологий / А. Б. Косарев, О. Н. Римская, И. В. Анохов // Инновационные транспортные системы и технологии. 2021. Т. 7, № 4. С. 90–105.
2. Анохов, И. В. Этапы развития транспортных коридоров: механизация, роботизация, интеллектуализация и перспективы цифровизации / И. В. Анохов, О. Н. Римская // Стратегические решения и риск-менеджмент. 2022. Т. 13, № 1. С. 72–79.

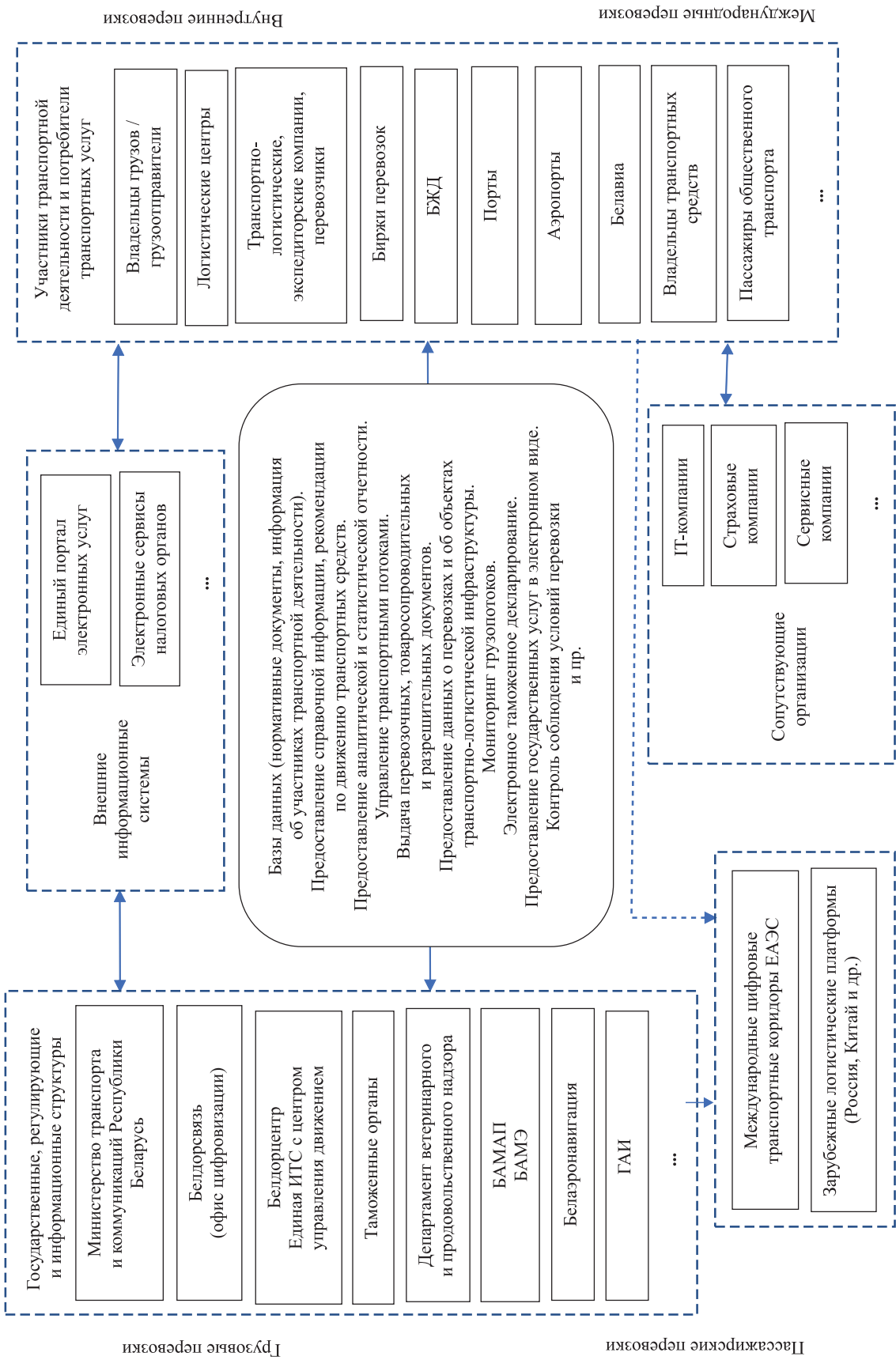


Рис. 1. Концептуальная схема построения и осуществления взаимодействия в рамках Единой транспортно-логистической платформы (собственная разработка)
Fig. 1. Conceptual scheme for the construction and implementation of interaction within the framework of the Unified Transport and Logistics Platform (own development)

3. Якубук, Ю. П. Мировой опыт создания цифровых транспортно-логистических платформ / Ю. П. Якубук // Стратегия развития экономики Беларуси: вызовы, инструменты реализации и перспективы: сб. науч. ст., в 2 т. Т. 2. Минск: Право и экономика, 2024. С. 85–90.
4. Мясникова, О. В. Платформенные решения для цифровой трансформации производственно-логистических систем / О. В. Мясникова // Цифровая трансформация. 2020. № 2. С. 5–15.
5. Якубук, Ю. П. Развитие логистических услуг, предлагаемых транспортными биржами / Ю. П. Якубук // Тенденции экономического развития в XXI веке: матер. II Междунар. науч. конф., г. Минск, 28 февр. 2020 г. Минск: Бел. гос. ун-т, 2020. С. 623–625.
6. Мясникова, О. В. Разработка подходов к созданию организационно-функциональной структуры экосистемы цифровых транспортных коридоров Евразийского экономического союза / О. В. Мясникова, Т. Г. Таболич // Цифровая трансформация. 2020. № 1. С. 23–35.
7. Анохов, И. В. Влияние цифровизации железных дорог на развитие национальной экономики / И. В. Анохов, О. Н. Римская, А. В. Хомов // Инновационные транспортные системы и технологии. 2022. Т. 8, № 2. С. 135–148.
8. Экономический механизм развития транспортно-логистической деятельности на предприятиях / Р. Б. Ивуть [и др.]. Минск: Бел. нац. техн. ун-т, 2022.

Поступила 26.02.2025

Принята в печать 28.03.2025

Доступна на сайте 10.07.2025

References

1. Kosarev A. B., Rimskaya O. N., Anokhov I. V. (2021) Advancing the Development of Railway Transport with the Help of Digital Technologies. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 7 (4), 90–105 (in Russian).
2. Anokhov I. V., Rimskaya O. N. (2022) Stages of Transport Corridor Development: Mechanisation, Robotisation, Intellectualisation and Digitalisation Perspectives. *Strategic Decisions and Risk Management*. 13 (1), 72–79 (in Russian).
3. Yakubuk Yu. P. (2024) World Experience in Creating Digital Transport and Logistics Platforms. *Strategy for the Development of the Economy of Belarus: Challenges, Implementation Tools and Prospects: Scientific Articles, in Two Volumes, Vol. 2*. Minsk, Law and Economics. 85–90 (in Russian).
4. Miasnikova O. V. (2020) Platform Solutions for Digital Transformation of Production and Logistics Systems. *Digital Transformation*. (2), 5–15 (in Russian).
5. Yakubuk Yu. P. (2020) Development of Logistics Services Offered by Freight Exchanges. *Trends in Economic Development in the XXI Century: Proceedings of the II International Scientific Conference, Minsk, Feb. 28*. Minsk, Belarusian State University. 623–625 (in Russian).
6. Miasnikova O. V., Tabolich T. G. (2020) Development of Approaches to an Organizational and Functional Structure Creating of the Eurasian Economic Union Digital Transport Corridors Ecosystem. *Digital Transformation*. (1), 23–35 (in Russian).
7. Anokhov I. V., Rimskaya O. N., Khomov A. V. (2022) Impact of Railways Digitalization on the National Economy Development. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 8 (2), 135–148 (in Russian).
8. Ivut R. B., Lapkovskaya P. I., Myasnikova O. V., Mesnik D. N. (2022) *Economic Mechanism for the Development of Transport and Logistics Activities at Enterprises*. Minsk, Belarusian National Technical University (in Russian).

Received: 26 February 2025

Accepted: 28 March 2025

Available on the website: 10 July 2025

Сведения об авторе

Якубук Ю. П., канд. экон. наук, доц., зав. сектором международной конкурентоспособности и развития регионов Центра мировой экономики, Институт экономики Национальной академии наук Беларуси

Адрес для корреспонденции

220072, Республика Беларусь,
Минск, ул. Сурганова, 1
Институт экономики
Национальной академии наук Беларуси
Тел.: +375 17 354-78-25
E-mail: yakubuk.yulia@tut.by
Якубук Юлия Петровна

Information about the author

Yakubuk Yu. P., Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, Head of the Section of International Competitiveness and Regional Development of the World Economy Centre, The Institute of Economics of the National Academy of Sciences of Belarus

Address for correspondence

220072, Republic of Belarus,
Minsk, Surganova St., 1
The Institute of Economics
of the National Academy of Sciences of Belarus
Tel.: +375 17 354-78-25
E-mail: yakubuk.yulia@tut.by
Yakubuk Yuliya Petrovna



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-2-59-68>

УДК 004.77:37.018.43-056.26

ЦИФРОВАЯ ДОСТУПНОСТЬ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО КОНТЕНТА С УЧЕТОМ СТАНДАРТА WEB CONTENT ACCESSIBILITY GUIDELINES

Е. С. ПИСКУН, У. А. МАКСИМЧУК

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

Аннотация. Показана значимость разработки образовательного веб-контента для пользователей с ограничениями по состоянию здоровья, в частности, с нарушением зрения, слуха, моторики и когнитивных способностей. Рассмотрены законодательные нормы и ключевые принципы стандарта Web Content Accessibility Guidelines, нацеленного на адаптацию цифровых платформ к пользователям с ограниченными возможностями. Обозначены специализированные инструменты для автоматизированной проверки и анализа различных аспектов доступности веб-страниц. Приведена оценка цифровой доступности веб-ресурса университета и даны рекомендации по ее улучшению в части доступности ресурсов для пользователей с нарушениями зрения, слуха, моторики и когнитивных способностей.

Ключевые слова: цифровая доступность, веб-ресурс, WCAG.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Пискун, Е. С. Цифровая доступность образовательного информационного контента с учетом стандарта Web Content Accessibility Guidelines / Е. С. Пискун, У. А. Максимчук // Цифровая трансформация. 2025. Т. 31, № 2. С. 59–68. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-2-59-68>.

DIGITAL ACCESSIBILITY OF EDUCATIONAL INFORMATION CONTENT TAKING INTO ACCOUNT THE WEB CONTENT ACCESSIBILITY GUIDELINES

EKATERINA S. PISKUN, ULYANA A. MAKSIMCHUK

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

Abstract. The importance of developing educational web content for users with disabilities, in particular, visual, hearing, motor and cognitive impairments, is shown. Legislative norms and key principles of Web Content Accessibility Guidelines standards aimed at adapting digital platforms to users with disabilities are considered. Specialized tools for automated testing and analysis of various aspects of web page accessibility are outlined. An assessment of the digital accessibility of the university web resource is given and recommendations for its improvement are given, in terms of accessibility of resources for users with visual, hearing, motor and cognitive impairments.

Keywords: digital accessibility, web resource, WCAG.

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

For citation. Piskun E. S., Maksimchuk U. A. (2025) Digital Accessibility of Educational Information Content Taking into Account the Web Content Accessibility Guidelines. *Digital Transformation*. 31 (2), 59–68. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-2-59-68> (in Russian).

Введение

Современные технологии не только открыли новые горизонты в сфере образования, но и создали серьезные вызовы, связанные с доступностью информации для всех категорий пользователей. В условиях глобальной цифровизации различные EdTech-компании и университеты переходят на онлайн-форматы предоставления материалов, дистанционные курсы и цифровые библиотеки. Согласно [1], объем мирового рынка образовательных технологий в 2023 г. оценивался в 142,37 млрд долл. США и, как ожидается, в период с 2024 по 2030 г. будет расти среднегодовыми темпами в 13,4 %.

Цифровая доступность (digital accessibility) – это способность веб-ресурсов, разработанных EdTech-компаниями или университетами, быть удобными и функциональными для всех пользователей, включая людей с ограничениями по зрению, слуху, моторике и когнитивным способностям [2–4]. В образовательной сфере цифровая доступность играет критически важную роль, так как отсутствие адаптации электронных образовательных ресурсов может привести к дискриминации и исключению целых групп студентов и преподавателей из учебного процесса.

По результатам исследований ВОЗ, более 1 млрд человек во всем мире имеют ту или иную форму инвалидности, и данная цифра с каждым годом увеличивается [5]. В образовательной среде это выражается в потребности адаптировать онлайн-ресурсы таким образом, чтобы студенты с различными нарушениями могли без препятствий изучать материалы, взаимодействовать с преподавателями и выполнять учебные задания. Особенно актуальной такая проблема стала с ростом онлайн-обучения, который ускорился в результате пандемии COVID-19. Многие EdTech-компании и университеты были вынуждены срочно переводить образовательные процессы в цифровой формат, при этом доступность сайтов и образовательных платформ далеко не всегда учитывалась. Это привело к тому, что многие студенты с ограниченными возможностями столкнулись с проблемами при доступе к учебным материалам, взаимодействии с электронной средой и сдаче экзаменов.

В связи с вышесказанным, цель проведения исследований – определение, насколько сайт Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники (БГУИР), содержащий электронные образовательные ресурсы, соответствует требованиям цифровой доступности, а также выявление препятствий, с которыми могут столкнуться пользователи с ограниченными возможностями при взаимодействии с ним. В статье рассмотрены проблемы, возникающие у людей с нарушениями зрения (например, недостаточная контрастность текста, отсутствие альтернативного текста для изображений), слуха (отсутствие субтитров в видеоматериалах), моторики (сложность управления с клавиатуры, необходимость точного попадания по мелким элементам) и когнитивных особенностей (сложные формулировки, запутанная навигация). Для более объективного анализа использовались как автоматизированные инструменты тестирования доступности, так и ручные методы проверки, приближенные к реальному пользовательскому опыту.

На основе выявленных барьеров предложены рекомендации по модернизации сайта в соответствии со стандартом Web Content Accessibility Guidelines (WCAG). Эти рекомендации охватывают как технические (оптимизация кода, улучшение адаптивности интерфейса, настройка поддержки экранных дикторов), так и содержательные аспекты (разработка альтернативных форматов контента, улучшение навигации, оптимизация взаимодействия для различных групп пользователей).

Законодательные нормы и ключевые принципы стандарта WCAG

Цифровая доступность имеет не только технологическое, но и правовое и этическое значения. Во многих странах на законодательном уровне закреплены требования к доступности цифровых платформ. В частности, в Европе действует Директива ЕС 2016/2102 «О доступности веб-сайтов и мобильных приложений органов публичного сектора» [6], которая обязывает образовательные учреждения адаптировать свои цифровые платформы в соответствии с установленными стандартами. В США принят Закон о реабилитации [7], который требует от всех федеральных агентств, включая государственные университеты, соблюдать правила цифровой доступности.

В Республике Беларусь обеспечение доступности веб-ресурсов для людей с инвалидностью регулируется рядом нормативно-правовых актов. Ключевым из них является Закон «О правах

инвалидов и их социальной интеграции» [8], который направлен на реализацию положений Конвенции о правах инвалидов и устанавливает права людей с ограниченными возможностями, гарантии их осуществления, а также меры по обеспечению равенства и недискриминации по признаку инвалидности. В контексте цифровой доступности белорусское законодательство предусматривает обязательства для государственных органов и организаций. Согласно постановлению Совета Министров Республики Беларусь от 23 октября 2017 г. № 797 [9], интернет-сайты государственных органов и организаций должны быть доступны для незрячих пользователей. Это означает, что такие сайты обязаны предусматривать версии или поддерживать специальные технологии, обеспечивающие доступность для людей с инвалидностью по зрению.

Помимо законодательных норм, существуют также этические аспекты обеспечения доступности. Доступ к образованию является основополагающим правом человека, и отказ в этом праве на основании физических или когнитивных ограничений можно расценивать как дискриминацию. Сайты EdTech-компаний и университетов должны быть построены таким образом, чтобы любой пользователь, независимо от своих физических возможностей, мог получать информацию, записываться на курсы, взаимодействовать с преподавателями и пользоваться всеми возможностями образовательной среды. Игнорирование этих аспектов не только ограничивает права студентов и преподавателей, но и негативно сказывается на репутации организаций, реализующих образовательные услуги, а EdTech-компании и университеты, уделяющие внимание доступности, демонстрируют свою приверженность принципам инклюзивности, социальной ответственности и равенства возможностей.

Для оценки и улучшения доступности веб-ресурсов наиболее авторитетным и широко применяемым стандартом является WCAG, разработанный World Wide Web Consortium [10]. Рекомендации WCAG используются во многих странах для создания цифровой среды, доступной для людей с различными ограничениями. Основа WCAG – четыре ключевых принципа, которые обеспечивают доступность веб-контента для всех пользователей, включая людей с ограниченными возможностями [10]:

1) *воспринимаемость*: означает, что вся информация на сайте должна быть представлена таким образом, чтобы ее могли понимать люди с различными видами восприятия. Это предполагает наличие альтернативных текстов для изображений, субтитров и расшифровок для видеоматериалов, а также возможность настройки контраста и масштабирования текста без потери читаемости;

2) *управляемость*: предполагает, что пользователь должен иметь возможность легко взаимодействовать с сайтом, даже если он использует только клавиатуру или вспомогательные технологии, такие как экранные дикторы, что требует удобной навигации, четкой структуры страниц и отсутствия сложных интерактивных элементов, которые могут создавать препятствия при использовании;

3) *понятность контента и интерфейса*: играет важную роль в восприятии информации пользователями. Веб-ресурс должен быть логичным, предсказуемым и понятным, что достигается за счет простой и интуитивно понятной навигации, доступных форм и инструкций, а также использования четких шрифтов и хорошо структурированных текстов;

4) *надежность ресурса*: подразумевает его корректную работу на различных устройствах и браузерах, а также совместимость с программами чтения с экрана и другими вспомогательными технологиями, что особенно важно для пользователей, которые используют специализированное программное обеспечение для работы в интернете.

Важным аспектом является адаптация контента для пользователей с различными видами инвалидности. Это включает в себя использование читаемых шрифтов, доступных цветовых схем, альтернативных текстов для изображений, а также возможность изменять параметры отображения сайта в зависимости от потребностей пользователя.

В образовательной среде большое значение имеет мультимедийный контент, который должен быть доступным для всех категорий студентов. Видеолекции, презентации и аудиофайлы должны сопровождаться текстовыми расшифровками или субтитрами, чтобы студенты с нарушениями слуха могли полноценно воспринимать материал. Особое внимание следует уделять навигации по сайту, поскольку некоторые пользователи взаимодействуют с веб-ресурсами исключительно с помощью клавиатуры или специальных устройств ввода. В таких случаях важную роль играют

простота и предсказуемость интерфейса. Для обеспечения удобства необходимо использовать понятные элементы управления, избегать сложной анимации и всплывающих окон, которые могут создавать дополнительные препятствия при навигации. Интуитивно понятная структура страниц и логичное расположение элементов помогут пользователям легко ориентироваться на сайте и эффективно взаимодействовать с его содержанием.

Инструменты анализа структуры, функциональности и доступности электронных образовательных ресурсов

Исследование доступности образовательных веб-ресурсов невозможно без комплексного анализа их структуры, функционала и уровня соответствия международным стандартам. Для оценки уровня цифровой доступности было проведено автоматизированное тестирование сайта, позволившее объективно оценить его соответствие стандарту доступности и выявить ключевые проблемы, затрудняющие использование ресурса людьми с ограниченными возможностями. В рамках исследования были использованы несколько специализированных инструментов, которые анализируют различные аспекты доступности веб-страниц. Одним из таких инструментов стал WAVE (Web Accessibility Evaluation Tool) [11], который предназначен для проверки доступности веб-контента. Он анализирует структуру страницы, выявляет ошибки в разметке, проверяет наличие альтернативных текстов для изображений и оценивает уровень контрастности текста и фона. WAVE позволяет быстро определить, какие элементы сайта могут создавать барьеры для пользователей с ограниченными возможностями и нуждаются в доработке.

Еще одним важным инструментом, примененным в тестировании, стал Lighthouse, разработанный Google [12]. Он комплексно оценивает веб-страницы по нескольким критериям, включая производительность, SEO-оптимизацию и соответствие стандарту доступности. Lighthouse позволяет выявить проблемы, связанные с работой сайта на мобильных устройствах, корректностью верстки и семантической разметки, а также анализирует поддержку вспомогательных технологий. Также был использован инструмент axe DevTools [13], который предоставляет детальный анализ доступности веб-страницы. С его помощью можно выявить ошибки, связанные с недостаточной поддержкой клавиатурного управления, отсутствием необходимых ARIA-атрибутов, некорректным использованием HTML-структуры и другими барьерами, мешающими пользователям с инвалидностью эффективно взаимодействовать с веб-сайтом.

Особое внимание уделено анализу элементов управления сайтом, доступности интерактивных компонентов и корректности взаимодействия с клавиатурой. Важно отметить, что некоторые недочеты могут существенно усложнять навигацию по сайту для пользователей с нарушенной моторикой, поскольку им необходима возможность удобного перемещения между элементами без использования мыши. Отсутствие четких визуальных индикаторов фокуса также создает дополнительные трудности, делая некоторые функциональные элементы практически недоступными.

Оценка цифровой доступности веб-ресурса университета и рекомендации по ее улучшению

Официальный сайт БГУИР (<https://www.bsuir.by/>), содержащий электронные образовательные ресурсы, является ключевым инструментом коммуникации между университетом и студентами, преподавателями, абитуриентами и другими заинтересованными пользователями. Включает в себя множество разделов, предназначенных для различных категорий пользователей. Основные разделы содержат информацию о факультетах, образовательных программах, поступлении, научной деятельности, международном сотрудничестве и студенческой жизни. Также на сайте представлена информация о контактных данных администрации, расписании занятий и об электронных образовательных ресурсах.

Навигационная структура сайта организована с использованием горизонтального и бокового меню. Главное меню содержит основные категории, такие как «Абитуриенту», «Образование», «Наука», «Университет» и др. Дополнительные ссылки и меню расположены на страницах отдельных подразделов, что упрощает доступ к нужной информации. Однако отсутствие четких визуальных указателей и некоторых адаптивных элементов может усложнять навигацию для пользователей с ограниченными возможностями. Рассмотрим меры по оптимизации веб-ре-

сурсов для пользователей с нарушениями зрения, слуха, моторики (с ограниченной подвижностью) и когнитивных способностей.

Оптимизация веб-ресурсов для пользователей с нарушением зрения (Visual Accessibility Issues) и рекомендации по устранению недостатков в работе сайта

В рамках анализа цифровой доступности сайта БГУИР проведена категоризация мер по оптимизации веб-ресурсов на основе международных рекомендаций WCAG 2.1. Исследование выявило ряд элементов, затрудняющих использование ресурса для людей с нарушением зрения. Например, провели анализ на контрастность одного из компонентов на сайте БГУИР для оценки соответствия критериям доступности WCAG 2.1. Для этого перешли на сайт <https://www.bsuir.by> и открыли инструменты разработчика (рис. 1).

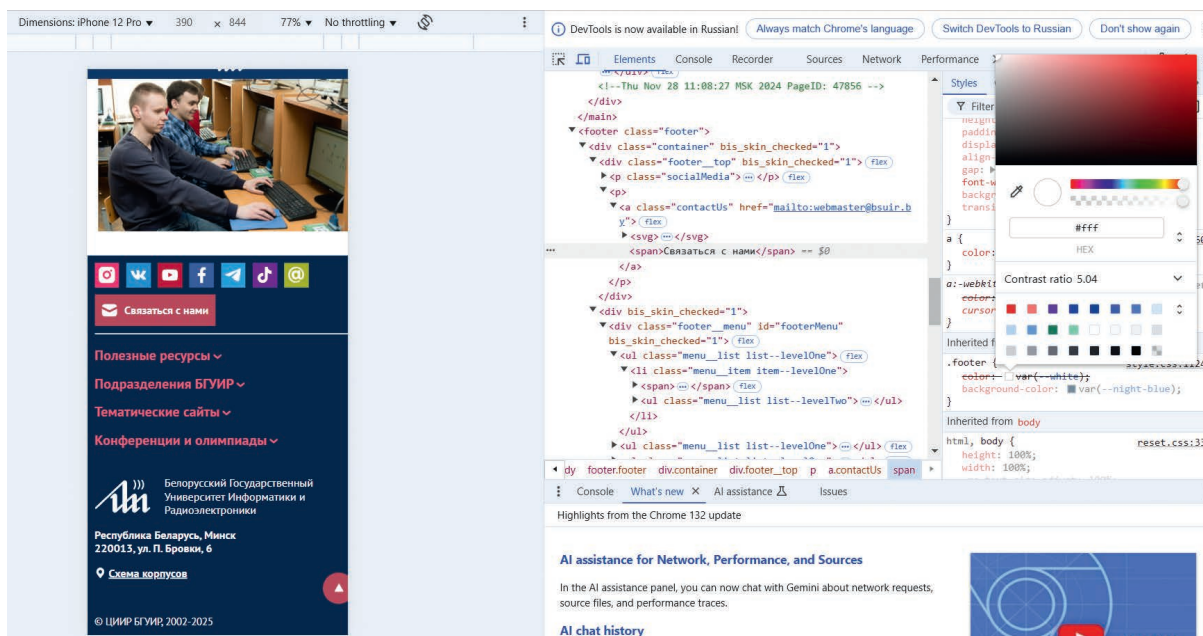


Рис. 1. Страницы сайта с инструментами разработчика
Fig. 1. Website pages with developer tools

Далее на вкладке Elements выбрали элемент с текстом, в разделе Styles нашли параметры color (цвет текста) и background-color (цвет фона), провели анализ элемента «Связаться с нами» (рис. 2, a).



Рис. 2. Интерфейс элемента «Связаться с нами» (a) и оценка его контрастности в Chrome DevTools (b)
Fig. 2. The “Contact Us” interface element (a) and its contrast rating in Chrome DevTools (b)

Результаты проверки на соответствие стандарту доступности WCAG 2.1, представленные на рис. 2, b, следующие: контрастность фона проходит минимальные требования WCAG AA ($\geq 4.5:1$), однако не соответствует повышенным требованиям WCAG AAA ($\geq 7.0:1$), соблюдения которых необходимы для пользователей с более серьезными нарушениями зрения, такими как слабовидящие люди или люди с катарактой. Из данного анализа можно сделать выводы, что текст будет читаем для большинства пользователей, но пользователи с нарушениями зрения могут испытывать сложности. В дополнение в условиях яркого солнечного света или при использовании экранных луп контраст может оказаться недостаточным. В табл. 1 приведены выявленные в работе сайта, предназначенного для пользователей с нарушением зрения, недостатки и рекомендации по их устранению.

Таблица 1. Недостатки в работе сайта, предназначенного для пользователей с нарушением зрения, и рекомендации по их устранению

Table 1. Shortcomings in the operation of a website intended for users with visual impairments and recommendations for their elimination

Недостаток	Описание	Рекомендация
Некорректное использование ARIA-атрибутов	Некоторые элементы интерфейса содержат неправильно настроенные ARIA-атрибуты или вообще их не используют. Это приводит к некорректному озвучиванию контента вспомогательными технологиями	Проверить и исправить использование ARIA-атрибутов (aria-label, aria-describedby, aria-live и др.)
Отсутствие семантической HTML-разметки	Вместо семантических тегов <header>, <nav>, <main>, <footer>, <button>, <label> используются <div> и , что затрудняет восприятие структуры страницы вспомогательными технологиями	Применять семантические HTML-элементы, соответствующие их функциям; использовать <button> вместо <div> для интерактивных элементов, <label> – для подписей к полям ввода и <nav> – для группировки навигационных ссылок
Использование текста в виде изображений	На сайте присутствуют изображения с текстом без альтернативного описания	Избегать использования изображений с текстом. В случаях, когда это необходимо, добавлять alt-теги с соответствующим текстом; добавить описательные alt-теги ко всем изображениям, особенно к тем, которые несут смысловую нагрузку; декоративные изображения должны иметь пустой alt="", чтобы их игнорировали программы чтения с экрана
Отсутствие поясняющих подписей к формам ввода	Поля ввода в формах не имеют подписей (label), что затрудняет их использование для пользователей экранных дикторов	Добавить <label> ко всем полям ввода и связать их с элементами формы с помощью for и id
Некорректное использование всплывающих окон	Некоторые всплывающие окна (modals) невозможно закрыть с клавиатуры, а их содержимое недоступно для программ экранного чтения	Убедиться, что все всплывающие окна можно закрыть с клавиатуры (клавишей Esc) и что их содержание корректно озвучивается экранными дикторами

Оптимизация веб-ресурсов для пользователей с нарушением слуха (Auditory Accessibility Issues) и рекомендации по устранению недостатков в работе сайта

На рис. 3 представлен анализ доступности видеоконтента на сайте БГУИР. В частности, рассмотрена страница, содержащая видеоматериал о дне открытых дверей. Анализ показал, что кнопка «Субтитры» присутствует, но она не активна.



Рис. 3. Видеоролик «День открытых дверей БГУИР» на сайте университета
Fig. 3. Video clip “BSUIR Open Day” on the university website

С учетом рекомендаций, изложенных в WCAG 2.1, видеоматериал может быть адаптирован таким образом, чтобы содержать корректно работающие субтитры, а также изображение сурдопереводчика в виде дополнительного видеопотока, что обеспечит соответствие стандарту доступности и позволит пользователям с нарушением слуха воспринимать информацию наравне с остальной аудиторией (рис. 4).



Рис. 4. Видеоролик «День открытых дверей БГУИР» с учетом требований WCAG 2.1

Fig. 4. Video clip “BSUIR Open Day” taking into account the requirements of WCAG 2.1

В табл. 2 приведены выявленные в работе сайта, предназначенного для пользователей с нарушением слуха, недостатки и рекомендации по их устранению.

Таблица 2. Недостатки в работе сайта, предназначенного для пользователей с нарушением слуха, и рекомендации по их устранению

Table 2. Shortcomings in the operation of a website intended for users with hearing impairments and recommendations for their elimination

Недостаток	Описание	Рекомендация
Отсутствие текстовых транскрипций для видеоматериалов	Видеоконтент на сайте не сопровождается текстовыми расшифровками, что делает его недоступным для людей с нарушением слуха	Добавить субтитры ко всем видеозаписям и предоставить текстовые расшифровки аудиоматериалов; при использовании YouTube можно применять встроенную систему автоматических субтитров с последующей корректировкой
Автовоспроизведение аудио и видео	Некоторые аудио- и видеоматериалы воспроизводятся автоматически без возможности отключения, что может создавать дискомфорт для пользователей с когнитивными нарушениями	Отключить автозапуск или предоставить пользователям возможность отключать аудио- и видеоконтент вручную

Оптимизация веб-ресурсов для пользователей с ограниченной подвижностью (Motor Accessibility Issues) и рекомендации по устранению недостатков в работе сайта

При анализе цифровой доступности сайта БГУИР для пользователей с нарушениями моторики (с ограниченной подвижностью) выявлены некоторые недостатки. В табл. 3 приведены выявленные в работе сайта, предназначенного для пользователей с нарушением моторики, недостатки и рекомендации по их устранению.

Таблица 3. Недостатки в работе сайта, предназначенного для пользователей с нарушением моторики, и рекомендации по их устранению

Table 3. Shortcomings in the operation of a website designed for users with motor impairments and recommendations for their elimination

Недостаток	Описание	Рекомендация
Некорректная работа клавиатурной навигации	Некоторые интерактивные элементы (меню, выпадающие списки, кнопки) не фокусируются корректно при навигации с клавиатуры. Это делает их недоступными для пользователей, которые не могут пользоваться мышью	Добавить корректное управление клавиатурой: убедиться, что все интерактивные элементы доступны через Tab, а действия можно выполнять с помощью Enter и Space; убедиться, что фокус видим и логично перемещается по странице
Отсутствие механизма пропуска навигации	На сайте нет кнопки «Пропустить к содержимому» (Skip to Content), что затрудняет работу для пользователей клавиатурной навигации	Добавить ссылку «Пропустить к содержимому» перед основным контентом, чтобы пользователи могли быстро переходить к основному содержимому, минуя длинные меню

Оптимизация веб-ресурсов для пользователей с когнитивными нарушениями (Cognitive Accessibility Issues) и рекомендации по устранению недостатков в работе сайта

При анализе цифровой доступности сайта БГУИР для пользователей с когнитивными нарушениями выявлен ряд недостатков, перечисленных в табл. 4. Также в таблице приведены рекомендации по их устранению.

Таблица 4. Недостатки в работе сайта, предназначенного для пользователей с когнитивными нарушениями, и рекомендации по их устранению

Table 4. Shortcomings in the operation of a website intended for users with cognitive impairments and recommendations for their elimination

Недостаток	Описание	Рекомендация
Автовоспроизведение аудио и видео	Незапланированное воспроизведение аудио и видео может дезориентировать и вызывать дискомфорт	Убедиться в корректности воспроизведения аудио- и видеоконтента с помощью Enter и Space
Неадаптивный дизайн на некоторых страницах	Сложные интерфейсы и неподходящее форматирование могут затруднять восприятие информации	Избегать возможности использования интерфейсов со сложной конфигурацией

Заключение

1. Анализ доступности образовательных веб-ресурсов сайта БГУИР по международному стандарту WCAG показал, что ресурс достаточно на высоком уровне соответствует основным требованиям цифровой доступности. Однако, несмотря на наличие ряда положительных аспектов, таких как корректное отображение информации и использование семантической разметки, выявлены недостатки, требующие внимания.

2. Для улучшения доступности сайта БГУИР, направленного на соответствие стандарту WCAG и устранение выявленных барьеров, целесообразно:

- использовать автоматизированные инструменты тестирования, такие как WAVE, Lighthouse и axe DevTools, для регулярного мониторинга проблем доступности;
- провести мануальное тестирование с участием пользователей с ограниченными возможностями, что позволит оценить реальный пользовательский опыт и выявить проблемы, которые могут остаться незамеченными при автоматизированной проверке;

– внедрить метод экспертного анализа, основанный на детальной проверке сайта специалистами по веб-доступности.

3. Для обеспечения долговременной доступности сайта следует внедрить процесс постоянного контроля и аудита, включая обучение разработчиков и контент-менеджеров принципам веб-доступности. Разработка внутренних руководств и стандартов по доступности позволит поддерживать сайт в соответствии с лучшими практиками и предотвращать появление новых проблем.

Список литературы

1. Education Technology Market Size & Trends [Electronic Resource]. Mode of access: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/education-technology-market>. Date of access: 18.03.2024.
2. Horton, S. *Access by Design: A Guide to Universal Usability for Web Designers* / S. Horton. USA: New Riders Pub., 2005.
3. Horton, S. *A Web for Everyone: Designing Accessible User Experiences* / S. Horton, W. Quesenbery, A. Gustafson. USA: Rosenfeld Media Pub., 2014.
4. Hoekman, R. Jr. *Designing the Obvious: A Common Sense Approach to Web and Mobile Application Design* / R. Jr. Hoekman. USA: New Riders Pub., 2010.
5. ВОЗ: более 1 млрд человек в мире имеют инвалидность [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://katarzyna.ru/articles/voz-bolee-1-mlrd-chelovek-v-mire-imeyut-invalidnost.html>. Дата доступа: 18.03.2024.
6. О доступности веб-сайтов и мобильных приложений органов публичного сектора: Директива Европейского парламента и Совета ЕС 2016/2102 от 26 октября 2016 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://base.garant.ru/71737650/>. Дата доступа: 18.03.2024.
7. Policy & Management. IT Accessibility Laws and Policies. Section 508 of the Rehabilitation Act of 1973 [Electronic Resource]. Mode of access: <https://www.section508.gov/manage/laws-and-policies/>. Date of access: 18.03.2024.
8. О правах инвалидов и их социальной интеграции: Закон Республики Беларусь 30 июня 2022 г. № 183-З [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mintrud.gov.by/ru/zakon-o-pravah-invalidov-i-ih-socialnoi-integracii-ru#>. Дата доступа: 18.03.2024.
9. О внесении изменения и дополнений в Положение о порядке функционирования интернет-сайтов государственных органов и организаций: постановление Совета Министров Республики Беларусь от 23.10.2017 № 797 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C21700797&p1=1&p5=0/>. Дата доступа: 18.03.2024.
10. Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1. W3C Recommendation [Electronic Resource]. Mode of access: <https://www.w3.org/TR/WCAG21/>. Date of access: 18.03.2024.
11. WAVE Web Accessibility Evaluation Tools [Electronic Resource]. Mode of access: <https://wave.webaim.org/>. Date of access: 18.03.2024.
12. Introduction to Lighthouse [Electronic Resource]. Mode of access: <https://developer.chrome.com/docs/lighthouse/overview?hl=ru/>. Date of access: 18.03.2024.
13. axe DevTools – Web Accessibility Testing [Electronic Resource]. Mode of access: <https://chromewebstore.google.com/detail/axe-devtools-web-accessib/lhdoppojpmngadmndnejejpokejbdd/>. Date of access: 18.03.2024.

Поступила 18.03.2025

Принята в печать 21.04.2025

Доступна на сайте 10.07.2025

References

1. *Education Technology Market Size & Trends*. Available: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/education-technology-market> (Accessed 18 March 2024).
2. Horton S. (2005) *Access by Design: A Guide to Universal Usability for Web Designers*. USA, New Riders Pub.
3. Horton S., Quesenbery W., Gustafson A. (2014) *A Web for Everyone: Designing Accessible User Experiences*. USA, Rosenfeld Media Pub.
4. Hoekman R. Jr. (2010) *Designing the Obvious: A Common Sense Approach to Web and Mobile Application Design*. USA, New Riders Pub.
5. WHO: *More Than 1 Billion People in the World Have Disabilities*. Available: <https://katarzyna.ru/articles/voz-bolee-1-mlrd-chelovek-v-mire-imeyut-invalidnost.html> (Accessed 18 March 2024) (in Russian).
6. On the Accessibility of Websites and Mobile Applications of Public Sector Bodies. *Directive (EU) 2016/2102 of the European Parliament and of the Council of 26 October 2016*. Available: <https://base.garant.ru/71737650/> (Accessed 18 March 2024) (in Russian).
7. *Policy & Management. IT Accessibility Laws and Policies. Section 508 of the Rehabilitation Act of 1973*. Available: <https://www.section508.gov/manage/laws-and-policies/> (Accessed 18 March 2024).

8. On the Rights of Persons with Disabilities and Their Social Integration. *Law of the Republic of Belarus of June 30, 2022 No 183-Z*. Available: <https://etalonline.by/document/?regnum=H12200183/> (Accessed 18 March 2024) (in Russian).
9. On Amendments and Supplements to the Regulation on the Procedure for the Functioning of Internet Sites of State Bodies and Organizations. *Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus dated 23.10.2017 No 797*. Available: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C21700797&p1=1&p5=0/> (Accessed 18 March 2024) (in Russian).
10. *Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1. W3C Recommendation*. Available: <https://www.w3.org/TR/WCAG21/> (Accessed 18 March 2024).
11. *WAVE Web Accessibility Evaluation Tools*. Available: <https://wave.webaim.org/> (Accessed 18 March 2024).
12. *Introduction to Lighthouse*. Available: <https://developer.chrome.com/docs/lighthouse/overview?hl=ru/> (Accessed 18 March 2024).
13. *axe DevTools – Web Accessibility Testing*. Available: <https://chromewebstore.google.com/detail/axe-devtools-web-accessib/lhdoppojpmngadmndnejejpokejbdd/> (Accessed 18 March 2024).

Received: 18 March 2025

Accepted: 21 April 2025

Available on the website: 10 July 2025

Вклад авторов / Authors' contribution

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

Сведения об авторах

Пискун Е. С., канд. экон. наук, доц. каф. проектирования информационно-компьютерных систем, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Максимчук У. А., студ., Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
Минск, ул. П. Бровки, 6
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
Тел.: +375 17 292-20-80
E-mail: e.piskun@bsuir.by
Пискун Екатерина Сергеевна

Information about the authors

Piskun E. S., Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor at the Department of Design Information and Computer Systems, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

Maksimchuk U. A., Student, 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 17 292-20-80
E-mail: e.piskun@bsuir.by
Piskun Ekaterina Sergeevna



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-2-69-76>

УДК 004.9:347.77

БЛОКЧЕЙН КАК ИНСТРУМЕНТ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРОЦЕССА ОЦЕНКИ ОБЪЕКТОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

В. А. БЕЗУГЛАЯ¹, С. Ф. КУГАН²

¹Белорусский государственный экономический университет (Минск, Республика Беларусь)

²Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(Минск, Республика Беларусь)

Аннотация. В статье приведен анализ интеграции блокчейн-технологий в методологию оценки объектов интеллектуальной собственности, что является значительным шагом к цифровой трансформации существующих подходов в сфере оценки результатов интеллектуальной деятельности. Выявлены возможности и вызовы, связанные с применением современных цифровых технологий для повышения эффективности оценки объектов интеллектуальной собственности. Исследовано влияние блокчейн-решений на процессы оценки с акцентом на прозрачность и защиту прав. Рассмотрены новые модели оценки, основанные на смарт-контрактах, для создания более справедливых механизмов распределения роялти, выявлены ключевые вызовы, связанные с правовым регулированием и техническими аспектами внедрения блокчейн-технологий. Определена необходимость разработки единых стандартов и протоколов для глобальной интеграции процессов оценки. Отмечены ключевые проблемы, связанные с правовым регулированием и техническими аспектами внедрения блокчейн-технологий в процесс оценки. Подчеркнута необходимость разработки единых стандартов и протоколов для глобальной интеграции данной сферы. Показан потенциал блокчейн-технологий как катализатора инноваций и сотрудничества на международной арене, открывающий новые горизонты для дальнейших исследований и практических применений в области интеллектуальной собственности.

Ключевые слова: блокчейн-технология, интеграция, оценка, объекты интеллектуальной собственности, технические аспекты, цифровая трансформация.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Безуглая, В. А. Блокчейн как инструмент трансформации процесса оценки объектов интеллектуальной собственности / В. А. Безуглая, С. Ф. Куган // Цифровая трансформация. 2025. Т. 31, № 2. С. 69–76. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-2-69-76>.

BLOCKCHAIN AS A TOOL FOR TRANSFORMING THE PROCESS OF ASSESSING INTELLECTUAL PROPERTY OBJECTS

VIKTORIYA A. BEZUGLAYA¹, SVETLANA F. KUGAN²

¹Belarus State Economic University (Minsk, Republic of Belarus)

²Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. The article provides an analysis of the integration of blockchain technologies into the methodology of intellectual property valuation, which is a significant step towards the digital transformation of existing approaches in the field of intellectual property valuation. The opportunities and challenges associated with the use of modern digital technologies to improve the efficiency of intellectual property valuation are identified. The impact of blockchain solutions on valuation processes is studied with an emphasis on transparency and protection of rights. New valuation models based on smart contracts are considered to create fairer mechanisms for distributing royalties, key challenges associated with legal regulation and technical aspects of implementing blockchain technologies are identified. The need to develop uniform standards and protocols for the global integration of valuation processes

ses is determined. Key problems associated with legal regulation and technical aspects of implementing blockchain technologies in the valuation process are noted. The need to develop uniform standards and protocols for the global integration of this area is emphasized. The potential of blockchain technologies as a catalyst for innovation and cooperation in the international arena is shown, opening up new horizons for further research and practical applications in the field of intellectual property.

Keywords: blockchain technology, integration, evaluation, intellectual property, technical aspects, digital transformation.

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

For citation. Bezuglaya V. A., Kugan S. F. (2025) Blockchain as a Tool for Transforming the Process of Assessing Intellectual Property Objects. *Digital Transformation*. 31 (2), 69–76. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-2-69-76> (in Russian).

Введение

В последние десятилетия интеллектуальная собственность (ИС) стала ключевым активом для большинства компаний и организаций, играя важную роль в их конкурентоспособности и инновационном развитии. По результатам исследования прогнозируется, что мировой рынок оценки ИС достигнет 1114 млн долл. США к 2033 г., увеличиваясь в среднем на 8,4 % в год с 2025 по 2033 г. [1]. Рост рынка объясняется осведомленностью о правах ИС и необходимостью точной оценки нематериальных активов. Эти данные подчеркивают значимость ИС как основного источника экономического роста.

Согласно отчету McKinsey, более 80 % стоимости компаний в современных условиях формируется именно за счет нематериальных активов, таких как патенты, товарные знаки и авторские права. В 2020 г. общая стоимость объектов интеллектуальной собственности (ОИС) на мировом рынке была оценена в 70 трлн долл. США, что делает оценку ИС критически важной для бизнеса [2]. Однако, несмотря на важность вопроса оценки ИС, существующие методы часто оказываются устаревшими и недостаточно прозрачными. По данным исследования, проведенного Deloitte, 60 % компаний сталкиваются с проблемами в определении стоимости своих нематериальных активов, что приводит к недооценке или переоценке их значимости. Среди трудностей, связанных с управлением нематериальными активами:

- недостаток прозрачности: 60 % компаний отмечают отсутствие прозрачности в процессах оценки ИС, что приводит к недоразумениям и правовым спорам. Прозрачность необходима для формирования доверия между заинтересованными сторонами и обеспечения справедливой оценки активов;

- устаревшие методы оценки: 55 % организаций продолжают использовать традиционные методы оценки, которые не учитывают современных рыночных условий и динамику. Это приводит к искажению реальной стоимости активов, что может повлиять на инвестиционные решения и стратегическое планирование;

- сложности в определении стоимости: примерно 70 % компаний испытывают трудности в точном определении стоимости своих нематериальных активов. Недостаточная точность в оценке может привести к недооценке, что ограничивает доступ к финансированию, или к переоценке, что создает риски для устойчивости бизнеса;

- проблемы с правовой защитой: 40 % компаний сталкиваются с юридическими проблемами, связанными с защитой своих прав на ИС. Это затрудняет процесс оценки и управления активами, создавая дополнительные риски для бизнеса;

- высокие затраты на оценку: около 30 % компаний считают, что затраты на профессиональную оценку ИС чрезмерны, что делает этот процесс недоступным для малых и средних предприятий. Высокие затраты на услуги оценщиков могут ограничивать возможности для эффективного управления ИС;

- нехватка квалифицированных специалистов: примерно 50 % компаний сообщают о нехватке специалистов в области оценки ИС. Это создает дефицит знаний и навыков, необходимых для проведения качественной и объективной оценки, что, в свою очередь, затрудняет принятие обоснованных решений;

- риск мошенничества: 45 % организаций обеспокоены риском мошенничества и подделки данных, что негативно сказывается на доверии к процессу оценки. Отсутствие надежных механизмов защиты данных может привести к значительным финансовым потерям [3].

В условиях растущей цифровизации и глобализации компании все чаще сталкиваются с необходимостью более точной и прозрачной оценки своих активов. С внедрением цифровых технологий, таких как блокчейн, появляется возможность улучшить процессы оценки ОИС, обеспечивая надежность, доступность и автоматизацию. Это делает актуальность оценки ОИС особенно важной в современных экономических реалиях [4–9]. Страны, которые активно применяют новейшие технологии для оценки ОИС:

- США: в 2021 г. более 15 % стартапов начали использовать блокчейн для управления правами на ИС. Платформы, такие как IBM Blockchain, позволяют компаниям регистрировать и отслеживать права на патенты и товарные знаки, что обеспечивает более высокую степень защиты и прозрачности;

- Эстония: страна занимает 1-е место в мире по индексу цифровой экономики и общества (DESI) 2022 г. С 2017 г. Эстония использует блокчейн для управления данными о патентах и товарных знаках. Это позволяет сократить время регистрации на 30 % и снизить затраты на обработку заявок;

- Сингапур: в 2020 г. более 20 % компаний в Сингапуре начали применять цифровые технологии для управления правами на ИС. Сингапурский патентный офис запустил проект IPOS Digital Hub, который использует блокчейн для упрощения процесса регистрации патентов и товарных знаков, снижая время обработки заявок на 40 %;

- Китай: по данным McKinsey, в 2021 г. около 30 % китайских компаний использовали блокчейн для защиты прав на ИС. Alibaba запустила систему Ant Blockchain, которая позволяет отслеживать происхождение товаров и защищать права ИС, что помогло снизить случаи подделок на 20 %;

- Великобритания: в 2022 г. 10 % авторов и издателей в Великобритании начали использовать блокчейн для защиты своих прав на авторские произведения. Проект Creative Passport применяет блокчейн для управления правами музыкантов, что позволяет упростить процесс учета и распределения роялти;

- Новая Зеландия: в 2021 г. 15 % малых и средних предприятий в Новой Зеландии начали использовать цифровые технологии для управления правами на ИС. Страна проводит пилотные проекты по реализации блокчейна для регистрации прав на товарные знаки, что позволяет ускорить процесс регистрации на 25 %.

Методика исследования

Для наглядного представления алгоритма взаимодействия участников процесса оценки ОИС с применением технологии блокчейн разработана диаграмма, представленная на рис. 1. UML-диаграмма позволяет в графическом формате показать связи, возникающие между элементами (классами) процесса. Взаимодействие между классами происходит следующим образом: оценщик выбирает метод оценки (класс Метод) и использует его для оценки ОИС → при этом подготовка данных выполняется перед оценкой, чтобы обеспечить наличие необходимых данных → верификация проверяет корректность подготовленных данных → после оценки создается отчет, который может включать промежуточные и финальные результаты → интеллектуальная собственность регистрируется в блокчейне, что обеспечивает безопасность и прозрачность → транзакции между участниками фиксируются в блокчейне и могут быть проверены с помощью смарт-контрактов.

Краткое описание функционального содержания каждого элемента (класса) на рис. 1:

Верификатор(ция) – этот класс обеспечивает проверку данных, используя метод «проверить()», который возвращает булево значение (истина/ложь), подтверждающее или опровергающее корректность данных;

Подготовка данных – отвечает за подготовку данных для оценки. Здесь используется метод «подготовить_данные()», реализующий подготовку необходимых данных, которые затем могут быть использованы оценщиком;

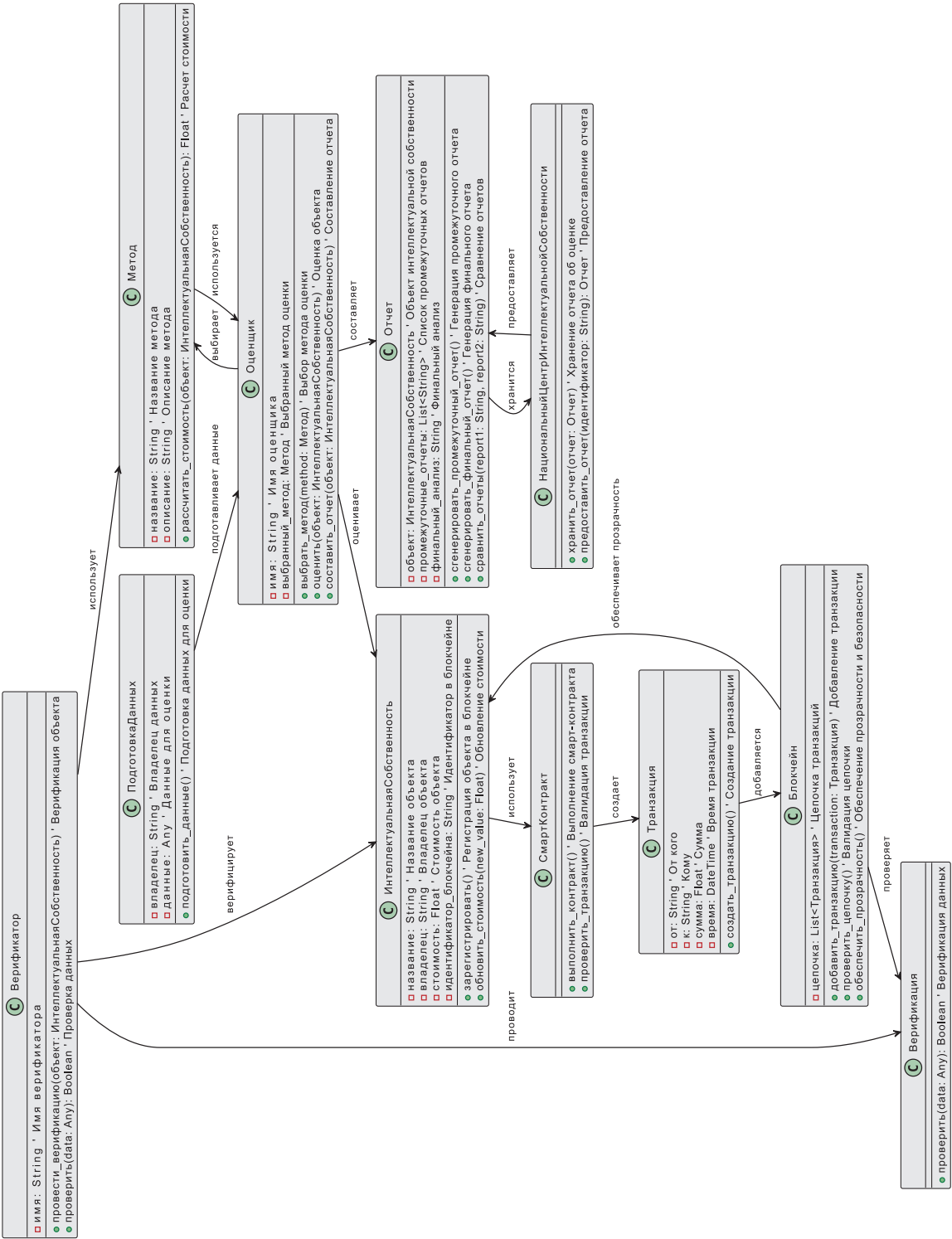


Рис. 1. UML-диаграмма взаимодействия участников процесса оценки объектов интеллектуальной собственности с применением технологии блокчейн
Fig. 1. UML-diagram of the interaction of participants in the process of evaluating intellectual property objects using blockchain technology

Метод – содержит описание различных методов оценки. Каждый метод имеет название и описание, а также реализует процедуру «рассчитать_стоимость()», которая вычисляет стоимость объекта на основе выбранного метода;

Оценщик – здесь реализуются выбор метода оценки и сам процесс выполнения оценки объекта интеллектуальной собственности. Метод «выбрать_метод()» позволяет оценщику выбрать подходящий метод из списка доступных, а метод «оценить()» выполняет оценку объекта;

Интеллектуальная собственность – это список объектов ИС. Данный класс содержит информацию о названии, владельце, стоимости и идентификаторе в блокчейне. Методы «зарегистрировать()» и «обновить_стоимость()» позволяют регистрировать объект в блокчейне и обновлять его стоимость автоматически;

Отчет – генерирует отчеты по оценке интеллектуальной собственности. Его методы позволяют создавать промежуточные и финальные отчеты, а также сравнивать их;

Смарт-контракт – реализует управление выполнением смарт-контрактов. Методы «выполнить_контракт()» и «проверить_транзакцию()» отвечают за выполнение условий контракта и валидацию транзакций;

Транзакция – функционирование класса происходит на основе описания транзакций между участниками. Метод «создать_транзакцию()» создает новую транзакцию с указанием отправителя, получателя, суммы и времени;

Блокчейн – управляет цепочкой транзакций. Метод «добавить_транзакцию()» добавляет новую транзакцию в цепочку, а «проверить_цепочку()» обеспечивает ее целостность.

Основные преимущества и сложности, с которыми могут столкнуться компании при оценке ОИС с внедрением технологии блокчейн, представлены в табл. 1.

Таблица 1. Преимущества и сложности внедрения технологии блокчейн в процесс оценки объектов интеллектуальной собственности

Table 1. Advantages and difficulties of implementing blockchain technology in the process of intellectual property valuation

Преимущество		Сложность	
Повышение прозрачности процессов оценки	Обеспечение неизменяемости данных, что позволяет всем участникам процесса оценки видеть, проверять информацию; снижается риск манипуляций и повышается доверие к результатам оценки	Технические сложности	Не все организации имеют необходимые инфраструктуру, ресурсы и опыт для интеграции блокчейн-систем, что может привести к высоким затратам на обучение и разработку
Использование смарт-контрактов	Смарт-контракты автоматизируют выполнение условий сделок, что минимизирует затраты на административные процедуры, ускоряет процесс заключения сделок, обеспечивает соблюдение условий соглашений	Проблемы с масштабируемостью	Многие блокчейн-системы, особенно те, которые используют механизм консенсуса Proof of Work, сталкиваются с проблемами масштабируемости. Это может ограничивать их способность обрабатывать большое количество транзакций, что критично для оценки ОИС
Создание децентрализованных реестров	Внедрение децентрализованных реестров для регистрации ОИС позволяет избежать централизованного контроля и повысить доступность информации		
Анализ больших данных	Блокчейн может быть интегрирован с аналитическими инструментами для обработки данных о рынке ИС, что позволит оценщикам точно определять стоимость рыночными методами	Правовые и регуляторные вопросы	Отсутствие четких правовых рамок и стандартов для использования блокчейна в оценке ИС может привести к юридическим спорам и неопределенности

Окончание табл. 1
Ending of Tab. 1

Преимущество		Сложность	
Устойчивость к фальсификациям	Высокий уровень защиты данных от подделок и несанкционированного доступа, что способствует формированию надежной системы, основанной на достоверной информации	Конфиденциальность и безопасность данных	Блокчейн обеспечивает высокий уровень безопасности, но также может представлять угрозу для конфиденциальности данных. Публичные блокчейны могут раскрывать информацию о правах на ОИС, что может быть нежелательным для некоторых владельцев
Международная стандартизация процессов	Унификация и стандартизация методов оценки на международном уровне. Это облегчает сотрудничество между странами и создает единые правила игры для всех участников рынка		
Оптимизация распределения роялти	Создание прозрачных механизмов распределения роялти между правообладателями и другими заинтересованными сторонами, что способствует более справедливому и эффективному вознаграждению создателей и владельцев ИС	Сопротивление изменениям	Организации могут сопротивляться внедрению новых технологий, включая блокчейн, из-за страха перед изменениями в устоявшихся процессах и системах
Обеспечение юридической силы цифровых активов	Технология блокчейн может предоставить юридическую силу цифровым записям, подтверждающим права на ОИС, упростить процесс защиты прав и разрешения споров	Высокие затраты на внедрение и эксплуатацию	Первоначальные инвестиции, а именно – затраты на разработку, обучение персонала и поддержку системы в блокчейн-технологии могут быть значительными

Результаты исследований и их обсуждение

Детальное рассмотрение описанных в табл. 1 преимуществ и сложностей, с которыми может столкнуться компания при использовании технологии блокчейн в процессе реализации оценки ОИС, позволяет предложить следующие направления, ориентированные на расширение возможности внедрения таких технологий в процесс оценки ОИС:

- разработка специализированных платформ: создание платформ, интегрирующих блокчейн-технологии, целесообразно использовать для оценки ОИС, что позволит автоматизировать и упростить процессы регистрации и оценки;
- обучение и подготовка специалистов: проведение образовательных программ и тренингов для оценщиков и специалистов в области ИС, направленных на освоение блокчейн-технологий и их применения в оценке ОИС, позволит сделать указанную деятельность более результативной и, следовательно, эффективной;
- создание протоколов взаимодействия: разработка стандартов и протоколов для взаимодействия между различными участниками процесса оценки, включая оценщиков, правообладателей и государственные органы, сделает эти процессы прозрачными и снимет возможные спорные вопросы в части делегирования ответственности;
- интеграция с существующими системами: внедрение блокчейн-технологий в уже существующие системы учета и регистрации ОИС позволит повысить их эффективность и надежность;
- развитие правового регулирования: проведение исследований, направленных на выявление правовых аспектов внедрения блокчейн-технологий в оценку ОИС, а также на разработку рекомендаций по их учету, позволит сформировать и реализовать правовые процедуры, связанные с коммерциализацией ОИС и результатов интеллектуальной деятельности;
- создание пилотных проектов: реализация пилотных проектов, которые продемонстрируют практическое применение блокчейн-технологий в оценке ОИС, позволит еще на стадии инициа-

ции предусмотреть вероятность возникновения возможных проблем и разработать корректирующие решения;

– сотрудничество с государственными учреждениями: установление партнерств с государственными органами для разработки и внедрения нормативных актов, поддерживающих использование блокчейн-технологий в оценке ИС, позволит улучшить реализацию партнерских программ, повысить их коммерциализацию;

– обеспечение кибербезопасности: разработка мер по обеспечению безопасности данных, хранящихся в блокчейне, позволит защитить информацию о правах на ОИС от несанкционированного доступа и атак, снизить степень негативных последствий.

Перечисленные направления создадут основу для успешного внедрения блокчейн-технологий в процесс оценки ОИС, способствуя их интеграции в современные экономические и правовые системы.

Заключение

1. Представлен комплексный подход к оценке интеллектуальной собственности с использованием современных технологий, включая блокчейн и смарт-контракты. Разработанная методика включает в себя несколько ключевых элементов: систему классов, отвечающих за управление интеллектуальной собственностью, методы оценки, процедуры подготовки и верификации данных, а также механизмы для формирования отчетов и выполнения транзакций.

2. Предложена интеграция различных методов оценки, что в перспективе позволит повысить точность и надежность получаемых результатов. В частности, использование доходного, сравнительного и затратного методов в рамках единой системы предоставляет оценщикам гибкость и возможность выбора наиболее подходящего метода в зависимости от специфики оцениваемого объекта. Кроме того, применение блокчейн-технологий обеспечивает прозрачность и безопасность процессов регистрации и верификации интеллектуальной собственности. Смарт-контракты, в свою очередь, автоматизируют выполнение условий сделок, минимизируя риски и повышая доверие между сторонами.

3. Рассмотренная система не только отвечает современным требованиям рынка, но и создает фундамент для дальнейших исследований в области оценки и управления интеллектуальной собственностью. В будущем можно рассмотреть возможность расширения функционала системы, включая интеграцию с другими платформами и использование искусственного интеллекта для автоматизации процесса оценки. Это позволит сделать процесс более эффективным и менее затратным, что будет способствовать развитию инновационной экономики и защите прав интеллектуальной собственности. Глобальная интеграция и стандартизация процессов оценки могут упростить взаимодействие между странами. Внедрение блокчейна потребует развития правового регулирования и образовательных инициатив.

4. Подчеркнута важность междисциплинарного подхода в оценке интеллектуальной собственности, сочетающая знания из области права, экономики, технологий и информационных систем для создания более эффективных и надежных инструментов в этой области.

Список литературы

1. Dharmadhikari, S. Intellectual Property Services Market Report 2025 [Electronic Resource] / S. Dharmadhikari. Mode of access: <https://www.cognitivemarketresearch.com/intellectual-property-services-market-report?srsltid=AfmBOop4L7I0JYYoMwbV5dC7rS-gzqibKeABCsjr2JekOS-W4vYqZhvhH>.
2. Применение инструментов имитационного моделирования при оптимизации бизнес-процессов / А. Л. Миронова [и др.] // Экономика и управление народным хозяйством. 2020. № 11. С. 49–53.
3. Листопад, Н. И. Модель управления учебным процессом в учреждениях среднего специального образования / Н. И. Листопад, Е. А. Бущик // Цифровая трансформация. 2023. Т. 29, № 2. С. 52–59. <https://doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-2-52-59>.
4. Болотаева, О. С. Применение технологии блокчейн в сфере интеллектуальной собственности / О. С. Болотаева // Право и государство: теория и практика. 2023. № 6. С. 206–208.
5. Иваненко, О. С. Значение блокчейн-технологий и смарт-контрактов для регулирования внешнеэкономических сделок / О. С. Иваненко, А. О. Иншакова // Концепт. 2019. № 7. С. 111–115.
6. Blockchain Technology in Business and Information Systems Research / R. Beck [et al.] // Business & Information Systems Engineering. 2017. Vol. 59. P. 381–384.

7. Clark, B. Blockchain and IP Law: A Match Made in Crypto Heaven? / B. Clark, M. Baker // WIPO Magazine. 2018. https://www.wipo.int/wipo_magazine/en/2018/01/article_0005.html.
8. Mik, E. Smart Contracts: Terminology, Technical Limitations and Real World Complexity / E. Mik // Law, Innovation and Technology. 2017. Vol. 9, No 2. 1–32. DOI: 10.1080/17579961.2017.1378468.
9. Novoselova, L. Prospective Applications of New Technologies and Artificial Intelligence for Systematizing the Results of Intellectual Activity / L. Novoselova, E. Grin // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 224. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022403018>.

Поступила 10.03.2025

Принята в печать 16.04.2025

Доступна на сайте 10.07.2025

References

1. Dharmadhikar S. (2025) *Intellectual Property Services Market Report 2025*. Available: <https://www.cognitivemarketresearch.com/intellectual-property-services-market-report?srsId=AfmBOop4L7I0JYYoMwbV5dC7rS-gzqibKeABCsjr2JekOS-W4vYqZhvh>.
2. Mironova A. L., Gavriluk E. Yu., Guslyakova A. V., Svalova A. S., Gonchar V. N. (2020) Application of Simulation Modeling Tools in Business Process Optimization. *Economy and Management of the National Economy*. (11), 49–53 (in Russian).
3. Listopad N. I., Bushchyk E. A. (2023) Model of Educational Process Management in Institutions of Secondary Special Education. *Digital Transformation*. 29 (2), 52–59. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-2-52-59> (in Russian).
4. Bolotaeva O. S. (2023) Application of Blockchain Technology in the Field of Intellectual Property. *Law and State: Theory and Practice*. (6), 206–208 (in Russian).
5. Ivanenko O. S., Inshakova A. O. (2019) The Importance of Blockchain Technologies and Smart Contracts for Regulating Foreign Economic Transactions. *Concept*. (7), 111–115 (in Russian).
6. Beck R., Avital M., Rossi M., Thatcher J. B. (2017) Blockchain Technology in Business and Information Systems Research. *Business & Information Systems Engineering*. 59, 381–384.
7. Clark B., Baker M. (2018) Blockchain and IP Law: A Match Made in Crypto Heaven? *WIPO Magazine*. https://www.wipo.int/wipo_magazine/en/2018/01/article_0005.html.
8. Mik E. (2017) Smart Contracts: Terminology, Technical Limitations and Real World Complexity. *Law, Innovation and Technology*. 9 (2), 1–32. DOI: 10.1080/17579961.2017.1378468.
9. Novoselova L., Grin E. (220) Prospective Applications of New Technologies and Artificial Intelligence for Systematizing the Results of Intellectual Activity. *E3S Web of Conferences*. 224. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022403018>.

Received: 10 March 2025

Accepted: 16 April 2025

Available on the website: 10 July 2025

Вклад авторов / Authors' contribution

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

Сведения об авторах

Безуглая В. А., канд. экон. наук, доц., доц. каф. экономической политики, Белорусский государственный экономический университет

Куган С. Ф., д-р экон. наук, доц., нач. управления подготовки научных кадров высшей квалификации, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
Минск, ул. П. Бровки, 6
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
Тел.: +375 29 792-52-12
E-mail: sfkugan@mail.ru
Куган Светлана Федоровна

Information about the authors

Bezuglaya V. A., Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Economic Policy, Belarus State Economic University

Kugan S. F., Dr. Sci. (Econ.), Associate Professor, Head of the Department for Training of Highly Qualified Scientific Personnel, 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
Тел.: +375 29 792-52-12
E-mail: sfkugan@mail.ru
Kugan Svetlana Fedorovna



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-2-77-83>

УДК 004.8+159.942.33

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ «УМНЫЙ ГОРОД» В МОНИТОРИНГЕ И УПРАВЛЕНИИ ОБЩЕСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ

Е. М. КОСАРЕВА, Д. В. ЛИХАЧЕВСКИЙ, Т. В. КАЗАК, Д. Р. ТИУНЧИК

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

Аннотация. В статье обосновано применение систем «умный город» в качестве инструмента мониторинга и управления общественной безопасностью. Описан метод распознавания и оценки потенциальных антропогенных угроз «умного города». Проведено обоснование выбора факторов, лежащих в основе оценки потенциальной опасности лиц, с учетом специфики применения метода в автоматизированных интеллектуальных системах предиктивной аналитики и интеллектуального видеонаблюдения в «умном городе». Описаны результаты разработки прототипа интеллектуальной системы. Проведена оценка точности ее работы.

Ключевые слова: психоэмоциональное состояние, распознавание эмоций, антропогенные угрозы, «умный город», сверточные нейронные сети, интеллектуальное видеонаблюдение, предиктивная аналитика.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Применение систем «умный город» в мониторинге и управлении общественной безопасностью / Е. М. Косарева [и др.] // Доклады БГУИР. 2025. Т. 31, № 2. С. 77–83. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-2-77-83>.

APPLICATION OF SMART CITY SYSTEMS IN PUBLIC SAFETY MONITORING AND MANAGEMENT

EKATERINA M. KOSAREVA, DMITRY V. LIKHACHEVSKY, TAMARA V. KAZAK,
DANIIL R. TIUNCHIK

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

Abstract. The article substantiates the use of “smart city” systems as a tool for monitoring and managing public safety. A method for recognizing and assessing potential anthropogenic threats to a “smart city” is described. The choice of factors underlying the assessment of the potential danger of individuals is substantiated, taking into account the specifics of the method’s application in automated intelligent systems of predictive analytics and intelligent video surveillance in a “smart city”. The results of developing a prototype of an intelligent system are described. The accuracy of its operation is assessed.

Keywords: psycho-emotional state, emotion recognition, anthropogenic threats, “smart city”, convolutional neural networks, intelligent video surveillance, predictive analytics.

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

For citation. Kosareva E. M., Likhachevsky D. V., Kazak T. V., Tiunchik D. R. (2025) Application of Smart City Systems in Public Safety Monitoring and Management. *Digital Transformation*. 31 (2), 77–83. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-2-77-83> (in Russian).

Введение

Возникновение новых парадигм общественного развития влечет за собой качественные изменения во всех сферах функционирования белорусского государства. С 2021 г. в Беларуси взят курс на развертывание процессов цифровой трансформации. Сегодня концепция цифровой трансформации реализуется в рамках Программы социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021–2025 гг. (далее – Программы). В соответствии с Программой, одной из задач является создание отраслевых и региональных цифровых платформ, а также внедрение технологии «умных городов» во всех регионах страны, в первую очередь в областных центрах [1].

При внедрении «умных городов» первостепенную важность имеют сопутствующие системы обеспечения безопасности, которые обрабатывают поступающие данные в режиме реального времени. И они уже используются для прогнозирования мест и времени возможных преступлений [2]. Кроме того, сами по себе «умные города» могут выступать в качестве средства повышения уровня общественной безопасности [3].

Автоматизация процесса распознавания потенциальных антропогенных угроз при помощи «умных городов» ведет к переходу от фиксации совершенных правонарушений к аналитике реального времени и предиктивной аналитике, которые позволяют выявить и предотвратить антропогенные угрозы до момента их реализации. Согласно [4], ключевую роль в распознавании антропогенных угроз играют оценка текущего психоэмоционального состояния потенциально опасного лица, а также идентификация его предшествующего криминального опыта. Обе эти задачи могут быть успешно решены при помощи интеллектуальных систем видеонаблюдения, активно применяющихся в «умных городах» [5].

В статье описан метод оценки потенциальной опасности лица с учетом специфики его применения в системе интеллектуального видеонаблюдения, а также проведена оценка точности интеллектуальной системы, реализующей данный алгоритм.

Метод оценки антропогенных угроз

Антропогенные угрозы представляют собой группу потенциальных угроз «умного города», которые являются результатом реализации социальной опасности отдельных лиц или групп. Социальная опасность личности развивается чаще всего до момента совершения деяния. Постепенное формирование такой опасности обычно проявляется в асоциальном поведении конкретного лица – административных, дисциплинарных правонарушениях, безнравственных действиях, не имеющих пока еще характера преступления [6]. Таким образом, крайне важно применять инструменты предиктивной аналитики для распознавания лиц с высоким уровнем социальной опасности для предотвращения реализации антропогенных угроз [5]. Внедрение «умных городов» позволяет автоматизировать эти процессы, обеспечивая при этом более высокую точность и скорость распознавания по сравнению с неавтоматизированными методами.

С учетом специфики средств реализации интеллектуальной системы распознавания в качестве основы для оценки потенциальной опасности предлагается использовать те параметры, которые возможно однозначно представить в виде числовой величины или зафиксировать с помощью средств видеонаблюдения. Кроме того, выбранные параметры в совокупности должны наиболее полно определять уровень потенциальной опасности лица.

В рамках предлагаемой методики оценка потенциальной опасности лица может производиться на основании психоэмоционального состояния, а также наличия/отсутствия предыдущего криминального опыта. Привлечение к уголовной ответственности в прошлом является основной предпосылкой реализации социальной опасности лица. Это обусловлено психологической сущностью рецидива, определяющей повышенную опасность личности виновного. Отсюда следует, что при оценке потенциальной опасности лица данный фактор имеет больший вес. Задача оценки этого фактора сводится к решению задачи идентификации личности. Идентификация личности человека производится при помощи алгоритма распознавания лиц и сопоставления полученного вектора признаков с имеющейся базой данных лиц. Нейронная сеть, решающая задачу идентификации личности, позволяет получить бинарное значение фактора криминального прошлого лица: 1 – лицо совершало противоправные поступки, 0 – подобный опыт отсутствует.

Согласно исследованию [4], внешние проявления психологических состояний, ведущих к реализации социальной опасности, по своей мимической структуре соответствуют таким эмо-

циям, как гнев, страх и нейтральная. Применимо к автоматизированной системе данный фактор может быть оценен посредством нейронной сети, решающей задачу распознавания эмоций в видеопотоке. В результате решения данной задачи будет получен вектор процентов соответствия выражения лица каждой из эмоций, из которого будут выделены значения интересующих эмоций. Значение фактора проявления специфических признаков (MSS – Manifestation of Specific Signs) в психологическом профиле рассчитывается по формуле

$$MSS = \frac{\sum v_i}{100}, \quad (1)$$

где v_i – степень проявления эмоции (гнева, страха и нейтральной).

В отличие от предшествующего криминального опыта, фактор текущего психоэмоционального состояния имеет меньший вес при расчете общего показателя потенциальной опасности. Это объясняется тем, что в контексте интеллектуальной системы психоэмоциональное состояние оценивается только по внешним признакам, что может частично снизить достоверность результатов. В табл. 1 приведены весовые коэффициенты для каждого из факторов, определяющих потенциальную опасность лица.

Таблица 1. Весовые коэффициенты для факторов оценки
Table 1. Weighting factors for evaluation factors

Фактор	Весовой коэффициент α_i
Привлечение к уголовной ответственности в прошлом	0,6
Проявление специфических признаков (MSS) в психологическом профиле	0,4

Интегральный показатель потенциальной опасности (PHI – Potential Hazard Indicator) лица рассчитывали по формуле

$$PHI = \sum_{\alpha_i y_j}, \quad (2)$$

где α_i – нормированный весовой коэффициент; y_j – значение фактора.

Результатом оценки является численный показатель $PHI \in [0; 1]$, который может быть представлен в процентном соотношении. PHI, колеблющийся в интервале от 0,35 до 0,60, свидетельствует о высокой потенциальной опасности лица [4]. Описанный метод лежит в основе прототипа автоматизированной системы распознавания потенциальных антропогенных угроз.

Модель для оценки факторов потенциальной опасности антропогенных угроз

Для оценки факторов потенциальной опасности лица обученная модель, лежащая в основе интеллектуальной системы, решает две задачи: оценки психоэмоционального состояния лица и распознавания лица (определение наличия/отсутствия предыдущего криминального опыта). Разработанная система состоит из следующих функциональных блоков:

- входной видеопоток от камеры;
- блок детекции лиц (dlib);
- модуль распознавания эмоций (дообученная модель FER + постобработка);
- модуль сравнения лиц (face descriptors с порогом 0,6);
- интерфейс визуализации.

Схематично структура системы представлена на рис. 1.

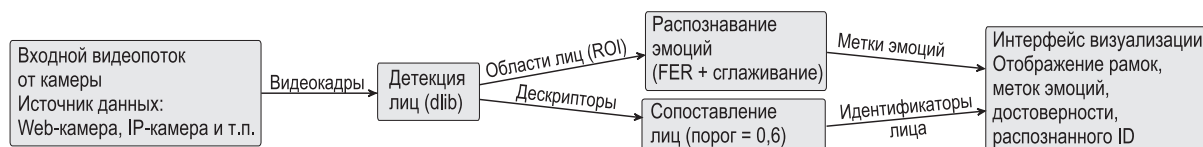


Рис. 1. Блок-схема потока данных
Fig 1. Data flow diagram

Логика работы системы для распознавания эмоций строится на последовательной обработке входного видеопотока и работает по следующему алгоритму.

1. Определение лица в кадре. Выделяется регион изображения, содержащий лицо, с помощью детектора лиц. Сначала видеопоток захватывается с камеры (для этого применяется модуль `camcap.ru`, в котором паттерн Singleton гарантирует, что камера создается и управляется единственным экземпляром объекта). Далее каждое изображение кадра передается на детектор лиц, основанный на `dlib`: библиотеке, предоставляющей метод `get_frontal_face_detector()`, который находит координаты лиц в кадре.

2. Считывание и классификация эмоции. Используется нейронная сеть, которая возвращает вектор вероятностей по каждому классу эмоций. Особый интерес представляют отрицательные эмоциональные состояния (гнев, страх) и нейтральное выражение лица, поскольку они коррелируют с потенциально «опасным» профилем (агрессия, ригидность, возбудимость). Для каждого обнаруженного лица формируется вырезанный фрагмент (ROI – Region of Interest) и передается в модуль распознавания эмоций FER. Дообученная модель FER, лежащая в основе данного модуля, использует сверточные фильтры для анализа изображения, извлекает высокоуровневые признаки (изгибы губ, положение глаз, нахмуренность бровей и т. д.) и на выходе выдает вектор вероятностей для каждого класса эмоций. Затем выбирается эмоция с наибольшим значением вероятности в качестве итоговой. Дополнительно, чтобы избежать скачкообразных изменений, применяется сглаживание (*post-processing*).

3. Сопоставление с базой данных. Происходит сравнение выделенного лица с записями в базе, где хранятся сведения о лицах, представляющих потенциальную угрозу по установленным критериям. Помимо определения эмоции, система параллельно решает задачу идентификации лиц. Для этого используется механизм генерации дескрипторов лиц (*face descriptors*), который также предоставляет `dlib`. Сформированное векторное представление (128-мерный вектор) сравнивается с заранее вычисленными дескрипторами эталонных лиц, хранящихся в локальной базе. Если евклидово расстояние между векторами не превышает заданный порог (например, 0,6), система считает, что лицо уже присутствует в базе, и выводит соответствующую информацию. Так достигаются одновременная идентификация человека и определение его эмоционального состояния.

4. Расчет показателя потенциальной опасности лица. На основании полученной информации вычисляется интегральный РНІ. Если РНІ превышает пороговое значение 0,6, то система классифицирует человека как потенциально опасного. В пользовательском интерфейсе визуализируется итоговый процент опасности: низкий (до 0,6) – зеленым цветом, высокий (более 0,6) – красным. Для иллюстрации работы системы на рис. 2 представлен скриншот интерфейса системы.

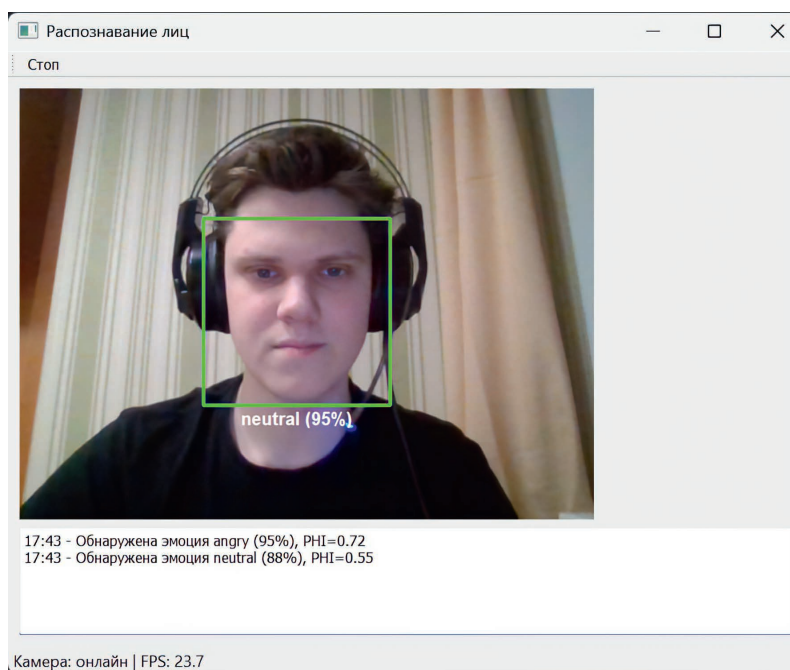


Рис. 2. Интерфейс программного средства
Fig. 2. Software interface

Для проверки точности работы интеллектуальной системы формировалась тестовая выборка из примерно 300 изображений, в которой сбалансированно представлены все семь классов эмоций. Каждое изображение «размечивалось» вручную, т. е. было указано, какая эмоция на самом деле представлена на изображении. Процесс тестирования включал следующие шаги:

- автоматическая детекция лиц в каждом тестовом изображении;
- распознавание эмоций;
- сопоставление предсказания и эталонной разметки;
- подсчет метрик (Accuracy, Precision, Recall, F1-score).

Для идентификации лиц использовалась отдельная методика сравнения дескрипторов. В демонстрационной среде модель сравнивала полученные векторы с примерами. Если евклидово расстояние оказывалось меньше 0,6, лицо считалось идентифицированным.

В исходном виде FER поставляется с предобученными весами, полученными на крупных публичных датасетах (включающих десятки тысяч изображений людей с выраженными эмоциями). Однако для уточнения модели под конкретные условия в настоящем исследовании была сформирована дополнительная выборка, включающая около 300 фотографий с различными эмоциями. Эти изображения были либо сняты в условиях офисного освещения, либо взяты из публичных источников с целью повысить вариативность (разные ракурсы, возрастные группы, цветовая гамма и т. д.). Для проведения fine-tuning выборку разбивали на три части:

- обучающая (training) – около 70 % изображений;
- валидационная (validation) – 20 %;
- тестовая (test) – 10 %.

При этом для валидации и теста особое внимание уделялось тому, чтобы в набор попали как «простые» фото (лицо анфас, нормальное освещение), так и более «сложные» (разные наклоны головы, мимика, аксессуаров вроде очков). Тем самым обеспечивалась большая обобщающая способность модели. Дообучение модели проводилось согласно следующему алгоритму:

- загрузка предобученной модели (FER);
- заморозка части слоев (base_layers);
- разморозка последних слоев и обучение на своих данных с постепенной корректировкой весов;
- указание оптимизатора (например, Adam) и функции потерь (categorical crossentropy);
- разбиение данных на обучающую и валидационную выборки, обучение в течение 10 эпох с использованием EarlyStopping, чтобы не допустить переобучения;
- сохранение итоговой модели.

На практике выбор количества эпох и гиперпараметров зависит от объема данных и аппаратных возможностей. В рассматриваемом случае при использовании около 300–500 собственных изображений достаточно 5–10 эпох, чтобы донастроить высшие слои нейронной сети.

На рис. 3 изображены кривые обучения (training accuracy vs. validation accuracy) и кривые потерь. Данные графики иллюстрируют, как модель «учится» и после какой эпохи достигается плато точности.

По результатам анализа эффективности работы двух ключевых модулей системы – идентификации лиц (dlib-дескрипторы) и распознавания эмоций (модель FER с дообучением) – были сделаны следующие выводы:

- тестовая выборка (300 изображений) позволила зафиксировать точность распознавания эмоций на уровне 87–90 % при дообучении (fine-tuning) базовой модели FER на локальном датасете, учитывающем различные углы съемки и условия освещения;
- наиболее часто ошибки наблюдались при распознавании классов fear и surprise, чьи мимические паттерны схожи;
- в задаче идентификации лиц точность достигала 92 % для фронтального ракурса и снижалась до 80–85 % при значительных поворотах головы.

Система, реализованная на современном аппаратном обеспечении, обрабатывает видеопоток с практической скоростью в реальном времени. Это важно для анализа потенциальной опасности, поскольку дает возможность одновременно учитывать все факторы потенциальной опасности лица, что подтверждает актуальность применения предложенной методики в рамках «умного города».

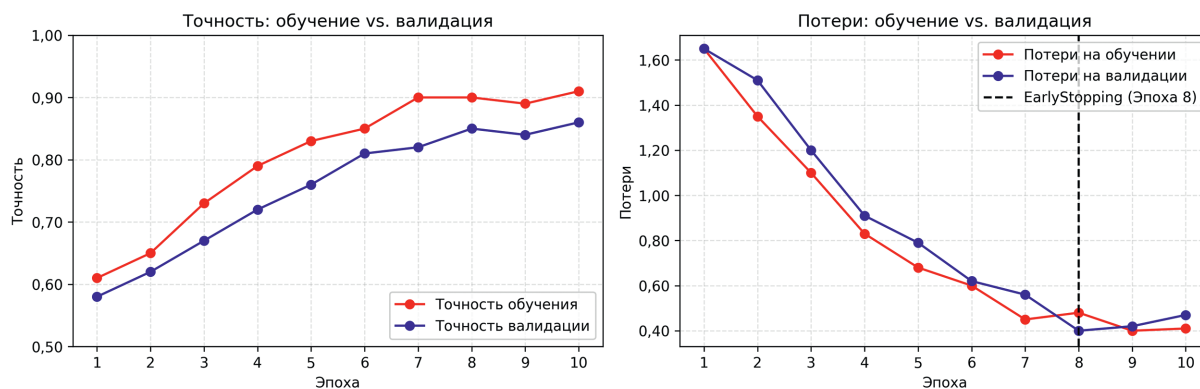


Рис. 3. Точность и потери при дообучении модели FER
Fig. 3. Accuracy and loss during retraining of the FER model

Заключение

1. «Умный город» как система мониторинга общественной безопасности позволяет существенно повысить уровень безопасности населения за счет применения технологий предиктивного распознавания потенциальных угроз, в том числе антропогенных.

2. Применение предлагаемой автоматизированной интеллектуальной системы позволяет одновременно оценивать несколько факторов, влияющих на реализацию социальной опасности с высокой точностью. Результаты экспериментов демонстрируют перспективность и практическую применимость данного подхода для систем интеллектуального видеонаблюдения и предиктивной аналитики в рамках «умного города».

Список литературы

1. Об утверждении Программы социально-экономического развития Беларуси на 2021–2025 годы: Указ Президента Республики Беларусь от 29 июля 2021 г. № 292 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=P32100292>. Дата доступа: 01.04.2025.
2. Шаталова, В. В. Большие данные: как технологии Big Data меняют нашу жизнь / В. В. Шаталова, Д. В. Лихачевский, Т. В. Казак // BIG DATA и анализ высокого уровня: сб. науч. ст. VII Междунар. науч.-практ. конф., г. Минск, 19–20 мая 2021 г. Минск: Бестпринт, 2021. С. 188–192.
3. Косарева, Е. М. «Умный» город как система мониторинга общественной безопасности / Е. М. Косарева, Д. В. Лихачевский // Искусственный интеллект в Беларуси: III форум IT-Академграда, г. Минск, 10–11 окт. 2024 г. Минск: Объед. ин-т проблем информ. Нац. акад. наук Беларуси, 2024. С. 162–166.
4. Косарева, Е. М. Признаки потенциально опасных лиц как одной из угроз в системах «умного» города / Е. М. Косарева, Д. В. Лихачевский // Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций: сб. науч. тр. № 7. М.-Севастополь: Изд-ва РНТОРЭС им. А. С. Попова, СевГУ, 2024.
5. Косарева, Е. М. Методы машинного обучения для распознавания потенциальных антропогенных угроз в системах «умного» города / Е. М. Косарева, Д. В. Лихачевский // Цифровая среда: технологии и перспективы. DETP 2024: сб. матер. II Междунар. науч.-практ. конф., г. Брест, 31 окт.–1 нояб. 2024 г. Брест: Брест. гос. техн. ун-т, 2024. С. 86–90.
6. Васильев, Л. В. Юридическая психология, 6-е изд. / Л. В. Васильев. СПб.: Питер, 2009.

Поступила 07.04.2025

Принята в печать 05.05.2025

Доступна на сайте 10.07.2025

References

1. On Approval of the Program for the Socio-Economic Development of Belarus for 2021–2025. *Decree of the President of the Republic of Belarus dated July 29, 2021 No 292*. Available: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=P32100292> (Accessed 1 April 2025) (in Russian).
2. Shatalova V. V., Likhachevsky D. V., Kazak T. V. (2021) Big Data: How Big Data Technologies are Changing Our Lives. *Big Data and Advanced Analytics. Collection of Scientific Articles of the VII International Scientific and Practical Conference, Minsk, May 19–20*. Minsk, Bestprint Publ. 188–192 (in Russian).
3. Kosareva E. M., Likhachevsky D. V. (2024) ‘Smart City’ as a Public Safety Monitoring System. *Artificial Intelligence in Belarus: III Forum of IT-Akademgrad, Minsk, 10–11 Oct*. Minsk, United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus. 162–166 (in Russian).

4. Kosareva E. M., Likhachevsky D. V. (2024) Characteristics of Potentially Dangerous Individuals as One of the Threats in 'Smart City' Systems. *Modern Problems of Radio Electronics and Telecommunications: Collection of Scientific Papers No 7*. Moscow-Sevastopol, RNTORES named after A. S. Popov, Sevastopol State University Publ. (in Russian).
5. Kosareva E. M., Likhachevsky D. V. (2024) Machine Learning Methods for Recognizing Potential Anthropogenic Threats in 'Smart City' Systems. *Digital Environment: Technologies and Perspectives. DETP 2024. Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference, Brest, Oct. 31–Nov. 1*. Brest, Brest State Technical University. 86–90 (in Russian).
6. Vasilyev L. V. (2009) *Legal Psychology: A Textbook for Universities*. St. Petersburg, Piter Publ. (in Russian).

Received: 7 April 2025

Accepted: 5 May 2025

Available on the website: 10 July 2025

Вклад авторов

Косарева Е. М. разработала метод оценки потенциальных антропогенных угроз «умного города», провела исследование.

Лихачевский Д. В. сформулировал задачу исследования.

Казак Т. В. определила общую методологию исследования.

Тиунчик Д. Р. разработал программный код, выполнил обучение модели.

Authors' contribution

Kosareva E. M. developed the method for assessing potential anthropogenic threats to a "smart city", conducted the research.

Likhachevsky D. V. formulated the research task.

Kazak T. V. defined the general research methodology.

Tiunchik D. R. developed the program code, trained the model.

Сведения об авторах

Косарева Е. М., асс. каф. проектирования информационно-компьютерных систем, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (БГУИР)

Лихачевский Д. В., канд. техн. наук, доц., декан факультета компьютерного проектирования, БГУИР

Казак Т. В., д-р псих. наук, проф., зав. каф. инженерной психологии и эргономики, БГУИР

Тиунчик Д. Р., студент БГУИР

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
Минск, ул. П. Бровки, 6
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
Тел.: +375 17 293-20-88
E-mail: kksrvvv@gmail.com
Косарева Екатерина Максимовна

Information about the authors

Kosareva E. M., Assistant at the Department of Design of Information and Computer Systems, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (BSUIR)

Likhachevsky D. V., Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Dean of the Faculty of Computer Design, BSUIR

Kazak T. V., Dr. Sci. (Psych.), Professor, Head of the Department of Engineering Psychology and Ergonomics, BSUIR

Tiunchik D. R., Student, BSUIR

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,
Minsk, P. Brovki St., 6
Belarusian State University
of Informatics and Radioelectronics
Tel.: +375 17 293-20-88
E-mail: kksrvvv@gmail.com
Kosareva Ekaterina Maksimovna

This image shows a full page of blank, lined paper. It features approximately 28 horizontal blue or grey lines spaced evenly apart, typical of notebook paper. The lines extend across the entire width of the page, leaving small margins at the top and bottom. There are no vertical lines, text, or other markings on the page.