

Уважаемые читатели и авторы!

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

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

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

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

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

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

Редакция журнала «Цифровая трансформация»

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ

Научный журнал издается с 1995 г. Выходит ежеквартально.

Ранее издание выходило под названием «Информатизация образования».

В 2017 г. журнал перерегистрирован под названием
«Цифровая трансформация», ISSN 2522-9613

Главный редактор

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

Редакционный совет

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

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

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

Сафонов В. Г., д. ф.-м. н., профессор, директор, 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;

Ковалев 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, Институт бизнеса Белорусского государственного университета, г. Минск, Республика Беларусь;

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

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

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

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

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

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

Касумов В. А., д. т. н., профессор, Азербайджанский технический университет, г. Баку, Азербайджанская Республика;

Ордуна-Мале Э., д. инф. н., доцент, Технический университет Валенсии, г. Валенсия, Испания;

Дземаида Г., действительный член Академии наук Литвы, д. т. н., профессор, Вильнюсский университет, г. Вильнюс, Литовская Республика.

Ответственный секретарь Т. В. Мироненко

Подписано в печать 12.03.2024. Формат бумаги 60×84½. Бумага офисная. Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 9,53. Уч.-изд. л. 8,1. Тираж 55 экз. Заказ 23.

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

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

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

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

DIGITAL TRANSFORMATION

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

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

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

Editor-in-Chief

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

Editorial Board

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

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

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

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

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

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

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

Khatskevich G., Dr. of Sci. (Econ.), Professor, School of Business of Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus;

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

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

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

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

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

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

Gasimov V., Dr. of Sci. (Tech.), Professor, Azerbaijan Technical University, Baku, Republic of Azerbaijan;

Orduna-Malea E., Dr. of Sci. (Inform.), Assistant Professor, Technical University of Valencia, Valencia, Spain;

Dzemyda G., Full Member of the Lithuanian Academy of Sciences, Dr. of Sci. (Tech.), Professor, Vilnius University, Vilnius, Republic of Lithuania.

Responsible Secretary T. Mironenka

Signed for printing 12.03.2024. Format 60×84 ½. Office paper. Printed on a risograph. Type face Times.

Ed.-pr. l. 9,53. Ed.-ed. l. 8,1. Edition 55 copies. Order 23.

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

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

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

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

220013, Minsk, P. Brovki St., 6

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

Index for individual subscription 75057. Index for departmental subscription 750572

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

СОДЕРЖАНИЕ
Т. 30, № 1, 2024

Экономические науки, образование

Калиновская И. Н. Оценка уровня цифровизации управления человеческими ресурсами организации.....	5
Цедрик А. В. Цифровизация энергетического комплекса Республики Беларусь: анализ состояния, перспективные направления, альтернативное предложение по оценке эффективности	16
Чигрина А. И., Панков Д. А. Виртуальная недвижимость: новый тренд или глобальная афера?	28

Технические науки

Голенков В. В., Гулякина Н. А., Шункевич Д. В. Методологические проблемы и стратегические цели работ по созданию теории и технологии интеллектуальных компьютерных систем нового поколения	40
Герасимов В. А., Казловский М. А. Использование системы облачной электронной подписи для организации электронного голосования	52
Старовойтова Т. Ф., Старовойтов И. А. Модель машинного обучения для обработки аэрокосмических изображений земной поверхности.....	63
Якимов Д. А., Выговская Н. В., Дроздов И. В. Разработка медицинской информационной системы с хранилищем данных и интеллектуальным анализом изображений	71

CONTENTS
V. 30, No 1, 2024

Economic Sciences, Education

Kalinouskaya I. N. Assessment of the Level of Digitalization of the Organization's Human Resource Management.....	5
Tsedrik A. V. Digitalization of the Energy Complex of the Republic of Belarus: State Analysis, Promising Areas, Alternative Proposal for Evaluating Efficiency.....	16
Chyhryna N. I., Pankov D. A. Virtual Real Estate: New Trend or Global Scam?	28

Technical Sciences

Golenkov V. V., Guliakina N. A., Shunkevich D. V. Methodological Problems and Strategic Goals of the Work on Creation of the Theory and Technology of New Generation Intelligent Computer Systems	40
Herasimau V. A., Kazlouski M. A. Using a Cloud-Based Electronic Signature System for Organizing Electronic Voting	52
Starovoitova T. F., Starovoitov I. A. Machine Learning Model for Processing Aerospace Images of the Earth's Surface.....	63
Yakimov D. A., Vygovskaya N. V., Drozdov I. V. Development of a Medical Information System with Data Storage and Intelligent Image Analysis.....	71



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-1-5-15>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 331.1+004.89

ОЦЕНКА УРОВНЯ ЦИФРОВИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКИМИ РЕСУРСАМИ ОРГАНИЗАЦИИ

И. Н. КАЛИНОВСКАЯ

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

Поступила в редакцию 19.09.2023

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

Аннотация. Рассмотрена актуальная проблема оценки уровня цифровизации системы управления человеческими ресурсами в современных организациях. Предложена методика комплексной количественной оценки степени внедрения цифровых технологий в кадровые процессы на основе ряда показателей и индексного подхода. Данная методика проиллюстрирована на примере анализа цифровизации HR белорусской IT-компании. Предлагаемая система показателей позволяет оценить текущее состояние цифровой трансформации HR и разработать рекомендации по ее дальнейшему развитию. В исследованиях использованы общенаучный и экономический методы анализа, интерпретационное структурное моделирование, моделирование с применением Марковских процессов, а также статистические методы группировки и классификаций. Методика имеет практическую значимость.

Ключевые слова: управление человеческими ресурсами, уровень цифровизации, интерпретационное структурное моделирование, моделирование с применением Марковских процессов, кадровая служба, HR.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Калиновская, И. Н. Оценка уровня цифровизации управления человеческими ресурсами организации / И. Н. Калиновская // Цифровая трансформация. 2024. Т. 30, № 1. С. 5–15. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-1-5-15>.

ASSESSMENT OF THE LEVEL OF DIGITALIZATION OF THE ORGANIZATION'S HUMAN RESOURCE MANAGEMENT

IRYNA N. KALINOUSKAYA

Vitebsk State Technological University (Vitebsk, Republic of Belarus)

Submitted 19.09.2023

Abstract. The actual problem of assessing the level of digitalization of the human resource management system in modern organizations is considered. The author proposes a method for a comprehensive quantitative assessment of the degree of implementation of digital technologies in personnel processes based on a number of indicators and an index approach. This technique is illustrated by the example of the analysis of HR digitalization of a Belarusian IT company. The proposed system of indicators makes it possible to assess the current state of HR digital transformation and develop recommendations for its further development. The research uses general scientific and economic methods of analysis, interpretive structural modeling, modeling using Markov processes, as well as statistical methods of grouping and classifications. The methodology has practical value.

Keywords: human resource management, level of digitalization, interpretive structural modeling, modeling using Markov processes, personnel service, HR.

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

For citation. Kalinouskaya I. N. (2024) Assessment of the Level of Digitalization of the Organization's Human Resource Management. *Digital Transformation*. 30 (1), 5–15. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-1-5-15> (in Russian).

Введение

В условиях развития цифровой экономики и стремительного прогресса информационных технологий цифровая трансформация сферы управления человеческими ресурсами становится ключевым фактором повышения эффективности современных организаций [1–3]. Внедрение цифровых технологий в управление человеческими ресурсами позволяет автоматизировать рутинные операции, ускорить и повысить качество процессов подбора, отбора, адаптации, обучения, оценки человеческих ресурсов, оптимизировать расходы на управление человеческими ресурсами [4, 5]. Однако многие организации сталкиваются со сложностями оценки текущего уровня цифровизации своей HR-функции и выработки стратегии ее дальнейшей трансформации.

Для решения данной проблемы возникла необходимость разработки методики комплексной оценки и измерения степени цифровизации управления человеческими ресурсами организации, позволяющей провести аудит текущего состояния и наметить направления дальнейшего развития. Цель исследований автора – разработка методики и ее апробация на примере белорусской организации. Задачи исследования:

- выявить ключевые факторы, влияющие на цифровизацию управления человеческими ресурсами;
- определить показатели для количественной оценки уровня цифровизации управления человеческими ресурсами;
- разработать алгоритм расчета интегрального показателя уровня цифровизации управления человеческими ресурсами на основе частных показателей;
- провести апробацию предложенной методики на примере белорусской организации;
- разработать рекомендации по повышению уровня цифровизации управления человеческими ресурсами на основе результатов апробации методики.

В ходе исследований выявлены ключевые группы факторов влияния цифровизации на управление человеческими ресурсами: технологические, экономические, социальные, правовые и психологические. Путем синтеза информации в разрезе выявленных групп сформирован список наиболее значимых факторов, воздействующих на управление человеческими ресурсами в цифровую эпоху [6]:

- технологические факторы: внедрение цифровых технологий в управление человеческими ресурсами, использование облачных, мобильных технологий и искусственного интеллекта в HR, HR-аналитика на основе больших данных;
- экономические факторы: спрос на новые цифровые навыки, развитие гибких и удаленных форм занятости, инвестирование обучения сотрудников;
- социальные факторы: трансформация коммуникаций и культуры организации, развитие удаленного взаимодействия, формирование цифровой этики;
- правовые факторы: правовое регулирование удаленной занятости, обеспечение информационной безопасности, юридическое сопровождение процессов автоматизации;
- психологические факторы: адаптация человеческих ресурсов к цифровой среде, содействие мотивации и вовлеченности, развитие гибких компетенций.

С целью установления взаимосвязей между выявленными факторами трансформации управления человеческими ресурсами проведено интерпретационное структурное моделирование [7] и построен направленный граф, визуализирующий их взаимодействие (рис. 1).

При анализе итоговой модели интерпретационного структурного моделирования:

- выявлены базовые факторы – развитие удаленного взаимодействия, формирование цифровой этики, адаптация человеческих ресурсов к цифровой среде, развитие гибких компетенций;

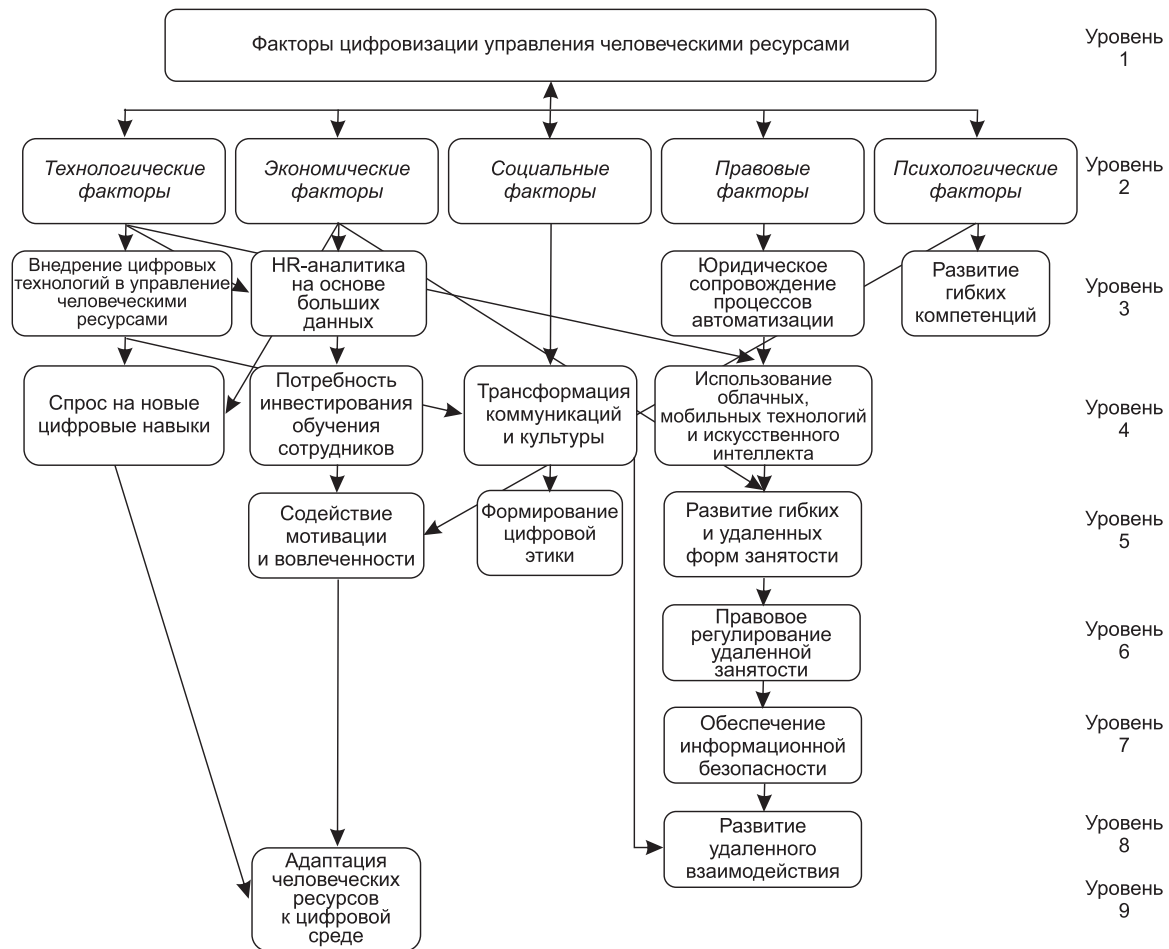


Рис. 1. Итоговая модель интерпретационного структурного моделирования взаимодействия факторов трансформации управления человеческими ресурсами
Fig. 1. The final model of interpretive structural modeling of interaction factors of transformation of human resource management

– установлена множественность взаимосвязей между факторами цифровизации управления человеческими ресурсами: тесная взаимосвязь между технологическими и экономическими факторами (внедрение технологий влияет на формирование спроса на новые навыки и инвестиции в обучение), взаимодействие технологических и правовых факторов (необходимо юридическое сопровождение процессов автоматизации), взаимосвязь технологических, социальных, правовых и психологических факторов (для развития удаленного взаимодействия), влияние HR-аналитики, основанной на технологических факторах, на экономические, социальные и психологические.

Методика оценки уровня цифровизации управления человеческими ресурсами в организации

Пусть $D_{УЧР}$ – уровень цифровизации управления человеческими ресурсами в организации, определяемый по формуле

$$D_{УЧР} = f(F_1, F_2, \dots, F_i), \quad (1)$$

где F_1, F_2, \dots, F_i – уровень развития цифровизации i -группы факторов; i – группа факторов.

Влияние факторов отражено в формуле

$$f(F_1, F_2, \dots, F_5) = a_1F_1 + a_2F_2 + a_3F_3 + a_4F_4 + a_5F_5 + b, \quad (2)$$

где F_1, F_2, F_3, F_4, F_5 – уровни развития цифровизации технологических, экономических, социальных, правовых и психологических факторов соответственно; a_1-a_5 – коэффициенты, отражающие

степень влияния групп факторов F_1-F_5 ; b – свободный член модели, роль которого – при необходимости обеспечить адекватность модели при низких значениях факторов, не допустить отрицательных значений уровня цифровизации управления человеческими ресурсами в организации.

Данная модель количественно описывает зависимость между уровнем цифровизации управления человеческими ресурсами и уровнями развития цифровизации групп факторов, влияющих на этот процесс, и может использоваться для прогнозирования динамики уровня цифровизации управления человеческими ресурсами в зависимости от изменений факторов под влиянием различных мероприятий по цифровой трансформации. С целью определения значений коэффициентов a_1-a_5 , отражающих степень влияния групп факторов F_1-F_5 , рассчитывались веса групп факторов (табл. 1).

Таблица 1. Расчет веса групп факторов цифровизации управления человеческими ресурсами в организации
Table 1. Calculating the weight of factors of digitalization of human resource management in an organization

Группа факторов / Groups of factors	Ранг фактора* / Factor rank*	Балл фактора** / Factor score**	Вес группы факторов*** / Weight of a group of factors***
Технологическая	4	20	0,26
Внедрение цифровых технологий в управление человеческими ресурсами	1	7	
Использование облачных, мобильных технологий и искусственного интеллекта	2	6	
HR-аналитика на основе больших данных	1	7	
Экономическая	7	17	0,22
Спрос на новые цифровые навыки	2	6	
Развитие гибких и удаленных форм занятости	3	5	
Потребность инвестирования обучения сотрудников	2	6	
Социальная	11	13	0,17
Трансформация коммуникаций и культуры организации	2	6	
Развитие удаленного взаимодействия	6	2	
Формирование цифровой этики	3	5	
Правовая	10	14	0,18
Правовое регулирование удаленной занятости	4	4	
Обеспечение информационной безопасности	5	3	
Юридическое сопровождение процессов автоматизации	1	7	
Психологическая	11	13	0,17
Адаптация человеческих ресурсов к цифровой среде	7	1	
Содействие мотивации и вовлеченности	3	5	
Развитие гибких компетенций	1	7	
*Ранг фактора определяется по уровню в итоговой модели интерпретационного структурного моделирования взаимодействия факторов трансформации управления человеческими ресурсами. Первый ранг соответствует 3-му уровню, седьмой – 9-му. **Перевод ранга в баллы осуществляется методом пропорционального пересчета. ***Вес группы факторов рассчитывается как соотношение баллов текущей группы факторов к сумме баллов всех групп факторов.			

Таким образом, уравнение (2) примет вид

$$D_{\text{учр}} = 0,26F_1 + 0,22F_2 + 0,17F_3 + 0,18F_4 + 0,17F_5 + b. \quad (2a)$$

Для нахождения значения коэффициента b в линейной регрессионной модели используется свойство – сумма всех коэффициентов регрессии должна быть равна единице. Тогда $b = 1 - (0,26 + 0,22 + 0,17 + 0,18 + 0,17) = 0$. Определение модели влияния факторов на уровень цифровизации управления человеческими ресурсами осуществляется с учетом особенностей данной системы:

- процесс внедрения цифровых технологий зависит от множества случайных факторов – технических сбоях, человеческого фактора, форс-мажора и др.;
- скорость и эффективность внедрения цифровых решений носят вероятностный характер, так как во многом зависят от квалификации и вовлеченности специалистов организации;
- процесс адаптации сотрудников к новым цифровым технологиям и изменениям не является детерминированным;
- условия внешней среды непредсказуемо влияют на приоритеты цифровой трансформации внутри организации;
- эффект от внедрения технологий может сильно различаться в зависимости от HR-процессов, степени охвата сотрудников и подразделений, квалификации и готовности сотрудников и HR-специалистов применять новые технологии, интеграции технологий с уже используемыми системами и бизнес-процессами, проработанности организационных изменений в связи с внедрением технологий и т. д.

Трансформация управления человеческими ресурсами имеет стохастический характер, что обуславливает целесообразность оценки факторов модели с помощью Марковских процессов. Алгоритм процедуры математического моделирования цифровой трансформации управления человеческими ресурсами включает следующий порядок действий.

1. Определение множества состояний системы, характеризующей уровень цифровизации i -группы факторов.
2. Составление матрицы переходных вероятностей состояний системы в рамках i -группы факторов.
3. Описание начального распределения вероятностей состояний системы в рамках i -группы факторов.
4. Определение динамики уровня цифровизации i -группы факторов.
5. Анализ полученных моделей развития уровней цифровизации всех групп факторов и разработка рекомендаций по управлению ими.

Определение множества состояний системы, характеризующей уровень цифровизации i -группы факторов. Конечное множество состояний системы S описывается уравнением

$$S = \{s_1, s_2, s_3\}, \quad (3)$$

где s_1, s_2, s_3 – низкий, средний и высокий уровни развития цифровизации i -группы факторов соответственно.

Для определения пороговых значений уровней развития цифровизации как i -группы факторов (в процентах), так и уровня цифровизации организации в целом может использоваться стандартный подход:

- низкий уровень цифровизации соответствует состоянию, когда в рамках i -группы факторов организации внедрено менее 30 % возможных цифровых технологий и инструментов;
- средний уровень – от 30 до 70 %;
- высокий уровень цифровизации – более 70 % охвата.

Однако в данном подходе не учитывается показатель максимального уровня цифровизации, достигнутый европейскими компаниями, которые могут быть взяты за эталон при исследованиях уровня цифровой трансформации организаций. В отчете Top Digital HR Cases by Levels of Digital Maturity 2020 отмечается, что компания Siemens достигла уровня цифровой зрелости HR, оцениваемого индексом 4.0 из 5.0 возможных. Таким образом, максимальный показатель цифровизации при ее высоком уровне не превышает 80 %. С учетом данной корректировки:

- низкий уровень цифровизации – менее 25 %;
- средний уровень – от 25 до 55 %;
- высокий уровень цифровизации – более 55 %.

При расчете фактического уровня цифровизации i -группы факторов необходимо оценить долю внедренных в нее цифровых технологий и инструментов в общем их возможном количестве. Для этого в оценке пороговых значений применяются экспертный подход, оценка по статистическим данным и бенчмаркингу для организации.

Составление матрицы переходных вероятностей состояний системы в рамках i -группы факторов. Матрица переходных вероятностей – матрица, описывающая вероятности переходов между различными состояниями системы (уровнями цифровизации i -группы факторов в управлении человеческими ресурсами) и задающая ее общие динамические свойства. Экспертно или на основе статистических данных проводится оценка вероятности переходов из каждого текущего состояния в каждое возможное следующее состояние: $P(s_i \rightarrow s_j)$ – вероятности перехода из состояния s_i в состояние s_j . Переходные вероятности формируют матрицу P_{ik} размерностью $n \times n$ (n – количество состояний):

$$P_{ik} = \begin{bmatrix} [P(s_1 \rightarrow s_1), P(s_1 \rightarrow s_2), P(s_1 \rightarrow s_3)]; \\ [P(s_2 \rightarrow s_1), P(s_2 \rightarrow s_2), P(s_2 \rightarrow s_3)]; \\ [P(s_3 \rightarrow s_1), P(s_3 \rightarrow s_2), P(s_3 \rightarrow s_3)], \end{bmatrix} \quad (4)$$

где i – группа факторов; k – шаг прогноза.

Описание переходов между возможными состояниями представлено в табл. 2.

Таблица 2. Описание переходов между возможными состояниями: низкий/средний/высокий уровни цифровизации i -группы факторов в управлении человеческими ресурсами

Table 2. Description of transitions between possible states: low/medium/high levels of digitalization of the i -group of factors in human resource management

Уровень цифровизации / The level of digitalization	Переход / Transition	Описание перехода / Transition description
Низкий	Низкий→низкий	Вероятность остаться на низком уровне цифровизации
	Низкий→средний	Вероятность перейти с низкого на средний уровень цифровизации
	Низкий→высокий	Вероятность перехода с низкого на высокий уровень цифровизации
Средний	Средний→низкий	Вероятность перейти со среднего на низкий уровень цифровизации
	Средний→средний	Вероятность остаться на среднем уровне цифровизации
	Средний→высокий	Вероятность перехода со среднего на высокий уровень цифровизации
Высокий	Высокий→низкий	Вероятность перейти с высокого на низкий уровень цифровизации
	Высокий→средний	Вероятность перейти с высокого на средний уровень цифровизации
	Высокий→высокий	Вероятность остаться на высоком уровне цифровизации

Для корректного моделирования с использованием матрицы переходов в Марковских процессах необходимо, чтобы сумма элементов в каждой строке матрицы переходных вероятностей P была равна единице. Составление матрицы переходных вероятностей и ее нормализация проводятся для каждой группы факторов F_1-F_5 .

Описание начального распределения вероятностей состояний системы в рамках i -группы факторов. Начальное распределение вероятностей состояний π_0 для модели Марковского процесса задается в виде вектора размерностью n (n – число состояний системы). Значения вероятностей состояния в начальный момент времени определяются экспертно либо на основании статистических данных и бенчмаркинга. Начальное распределение вероятностей состояний π_0 проводится для каждой группы факторов F_1-F_5 .

Определение динамики уровня цифровизации i -группы факторов. При определении динамики уровня цифровизации i -группы факторов задается количество шагов моделирования, зависящее от горизонта прогноза. Динамика уровня цифровизации i -группы факторов описывается уравнением

$$\pi_{ik} = \pi_{i0} P_{ik}, \quad (5)$$

где π_{ik} – уровень цифровизации i -группы факторов в момент времени k .

Тогда развитие уровня цифровизации i -группы факторов на 1-м, 2-м и 3-м шагах прогноза:

$$\pi_{i_1} = \pi_{i_0} P_{i_1}; \quad (6)$$

$$\pi_{i_2} = \pi_{i_1} P_{i_2} = \pi_{i_0} P_{i_1} P_{i_2}; \quad (7)$$

$$\pi_{i_3} = \pi_{i_2} P_{i_3} = \pi_{i_0} P_{i_1} P_{i_2} P_{i_3} = \pi_{i_0} \prod_{k=1}^3 P_{i_k}. \quad (8)$$

Таким образом, каждое новое распределение вероятностей (развитие уровня цифровизации i -группы факторов) получено путем произведения комбинации элементов матриц переходов P_{ik} с учетом начальных вероятностей состояний.

Анализ полученных моделей развития уровней цифровизации всех групп факторов и разработка рекомендаций по управлению ими. На основании проведенного моделирования динамики уровня цифровизации всех групп факторов проводится анализ полученных результатов. Полученные значения сравниваются с целевыми показателями, а также с ожидаемым уровнем цифровизации, делаются выводы о необходимости корректирующих воздействий. При необходимости меняются параметры модели (матрица переходов, начальное состояние) для анализа различных сценариев развития системы. Данный анализ позволяет комплексно оценить динамику системы и спланировать управляющие воздействия.

Апробация методики оценки цифровой трансформации управления человеческими ресурсами на примере белорусской IT-компании

Объектом апробации являлась белорусская IT-компания, резидент Парка высоких технологий Беларуси, входящая в рейтинг «Топ-50 2023» [8]. Прогноз уровня цифровизации компании составлялся после внедрения трех мероприятий:

- 1) системы электронного управления персоналом (HRMS) – первый шаг прогноза;
- 2) системы автоматизированного отбора персонала (ATS) – второй шаг прогноза;
- 3) цифровой платформы для обучения и развития сотрудников (LMS) – третий шаг прогноза.

При проведении исследований использовались экспертные оценки, выставленные сотрудниками компании, являющимися специалистами в области управления человеческими ресурсами (четыре человека), бизнес-анализа (два человека), управления проектами (четыре человека). Согласно экспертной оценке, матрицы вероятностей переходов между уровнями развития факторов цифровизации HR в компании имели следующий вид:

– при внедрении HRMS:

технологические факторы (P_1) $P_1 = \begin{bmatrix} 0,1 & 0,7 & 0,2 \\ 0 & 0,3 & 0,7 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$	социальные факторы (P_3) $P_3 = \begin{bmatrix} 0,2 & 0,5 & 0,3 \\ 0,1 & 0,3 & 0,6 \\ 0 & 0,1 & 0,9 \end{bmatrix};$	психологические факторы (P_5) $P_5 = \begin{bmatrix} 0,3 & 0,5 & 0,2 \\ 0 & 0,7 & 0,3 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$
экономические факторы (P_2) $P_2 = \begin{bmatrix} 0,2 & 0,6 & 0,2 \\ 0 & 0,4 & 0,6 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$	правовые факторы (P_4) $P_4 = \begin{bmatrix} 0,4 & 0,4 & 0,2 \\ 0,1 & 0,5 & 0,4 \\ 0,1 & 0,2 & 0,7 \end{bmatrix};$	

– при внедрении ATS:

технологические факторы (P_1) $P_1 = \begin{bmatrix} 0,5 & 0,3 & 0,2 \\ 0 & 0,7 & 0,3 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$	социальные факторы (P_3) $P_3 = \begin{bmatrix} 0,3 & 0,4 & 0,3 \\ 0 & 0,6 & 0,4 \\ 0 & 0,2 & 0,8 \end{bmatrix};$	психологические факторы (P_5) $P_5 = \begin{bmatrix} 0,4 & 0,4 & 0,2 \\ 0 & 0,8 & 0,2 \\ 0 & 0,1 & 0,9 \end{bmatrix};$
экономические факторы (P_2) $P_2 = \begin{bmatrix} 0,3 & 0,5 & 0,2 \\ 0,1 & 0,6 & 0,3 \\ 0 & 0,1 & 0,9 \end{bmatrix};$	правовые факторы (P_4) $P_4 = \begin{bmatrix} 0,4 & 0,5 & 0,1 \\ 0,2 & 0,6 & 0,2 \\ 0,2 & 0,2 & 0,6 \end{bmatrix};$	

– при внедрении LMS:

технологические факторы (P_1) социальные факторы (P_3) психологические факторы (P_5)

$$P_1 = \begin{bmatrix} 0,4 & 0,3 & 0,3 \\ 0 & 0,5 & 0,5 \\ 0 & 0 & 0,1 \end{bmatrix}; \quad P_3 = \begin{bmatrix} 0,1 & 0,7 & 0,2 \\ 0 & 0,5 & 0,5 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad P_5 = \begin{bmatrix} 0,3 & 0,6 & 0,1 \\ 0 & 0,7 & 0,3 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

экономические факторы (P_2) правовые факторы (P_4)

$$P_2 = \begin{bmatrix} 0,3 & 0,3 & 0,4 \\ 0 & 0,4 & 0,6 \\ 0 & 0,1 & 0,9 \end{bmatrix}; \quad P_4 = \begin{bmatrix} 0,4 & 0,5 & 0,1 \\ 0,3 & 0,6 & 0,1 \\ 0,2 & 0,3 & 0,5 \end{bmatrix}.$$

В ходе нормализации матриц факторов цифровизации управления человеческими ресурсами все их горизонтальные строки проверены на равенство единице. Начальное распределение вероятностей состояний, по мнению экспертов, для каждой группы факторов F_1-F_5 составило:

- технологические (P_1): $\pi_0 = [0,2 \ 0,5 \ 0,3]$ (20 % технологических факторов управления человеческими ресурсами имеют низкий уровень цифровизации, 50 % – средних, 30 % – высокий);
- экономические (P_2): $\pi_0 = [0,3 \ 0,4 \ 0,3]$;
- социальные (P_3): $\pi_0 = [0,1 \ 0,4 \ 0,5]$;
- правовые (P_4): $\pi_0 = [0,4 \ 0,4 \ 0,2]$;
- психологические (P_5): $\pi_0 = [0,1 \ 0,5 \ 0,4]$.

В табл. 3 приведено распределение вероятностей состояний групп факторов F_1-F_5 на 1–3-м шагах прогнозирования.

Таблица 3. Распределение вероятностей состояний групп факторов F_1-F_5 на 1–3-м шагах прогнозирования

Table 3. Probability distribution of the states of groups of factors F_1-F_5 at the 1–3 prediction steps

Прогнозируемый фактор / Predicted factor	Уровень / Level	Вероятность состояния уровней развития факторов / The probability of the state of the levels of development of factors			Состояние системы / System status	Описание результата* / Description of the result*
		1 шаг прогноза / 1 step of the forecast	2 шаг прогноза / 2 step of the forecast	3 шаг прогноза / 3 step of the forecast		
Технологический	Низкий	0,02	0,010	0,0040	↓	$F_1 \rightarrow 57\%$, высокий уровень цифровизации
	Средний	0,29	0,209	0,1075	↓	
	Высокий	0,69	0,781	0,8885	↑	
	Состояние	↑	↑	↑		
Экономический	Низкий	0,06	0,052	0,0156	↓	$F_2 \rightarrow 53\%$, средний уровень цифровизации
	Средний	0,34	0,294	0,1986	↓	
	Высокий	0,60	0,654	0,7858	↑	
	Состояние	↑	↑	↑		
Социальный	Низкий	0,06	0,018	0,0018	↓	$F_3 \rightarrow 55\%$, высокий уровень цифровизации
	Средний	0,22	0,300	0,1626	↑↓	
	Высокий	0,72	0,682	0,8356	↑↓	
	Состояние	↑	↑	↑		
Правовой	Низкий	0,22	0,244	0,2914	↑	$F_4 \rightarrow 31\%$, средний уровень цифровизации
	Средний	0,40	0,426	0,4766	↑	
	Высокий	0,38	0,330	0,2320	↓	
	Состояние	↑↓	↑↓	↑↓		
Психологический	Низкий	0,03	0,012	0,0036	↓	$F_5 \rightarrow 51\%$, средний уровень цифровизации
	Средний	0,40	0,389	0,2795	↓	
	Высокий	0,57	0,599	0,7169	↑	
	Состояние	↑	↑	↑		

*Определение уровня цифровизации фактора проводилось с учетом значимости уровня прогнозируемого фактора по его состоянию после трех мероприятий. Так, вес низкого уровня цифровизации принимали за 0,1, среднего – 0,3, высокого – 0,6.

Анализ распределения вероятностей состояний групп факторов F_1-F_5 на 1–3-м шагах составления прогнозов по уровню цифровизации управления человеческими ресурсами компании показал, что:

- система во всех рассмотренных случаях стремится к некоторому устойчивому состоянию в результате воздействия на нее факторов трансформации;
- наибольшая положительная динамика наблюдается у третьего состояния системы (высокий уровень цифровизации), его вероятность в устойчивом режиме достаточно высока, оно имеет важное значение для стабилизации системы;
- наиболее быстрый переход осуществляется у высокого уровня цифровизации, причем наибольшая скорость его перехода отмечается у технологических (60 %) и экономических (50 %) факторов;
- максимальная скорость перехода из среднего уровня цифровизации к высокому также возрастает у технологических факторов при внедрении первого мероприятия;
- высокий уровень цифровизации по результатам трех мероприятий отмечен у технологических и социальных факторов – 57 и 55 % соответственно;
- наиболее быстрая динамика переходов состояний системы наблюдается в технологических факторах, а наиболее медленная – в психологических;
- условия, заданные для технологических факторов, в наибольшей степени способствуют развитию системы по сравнению с другими матрицами.
- по результатам трех мероприятий у правовых факторов прослеживается незначительное увеличение среднего уровня цифровизации (на 10 %). Таким образом, организации необходимо разработать план мероприятий по трансформации правового регулирования удаленной занятости, обеспечению информационной безопасности и юридическому сопровождению процессов автоматизации.

По результатам прогнозирования уровня цифровизации компании предложен общий план трансформации правовых факторов, включающий следующие этапы.

1. Анализ текущего состояния и определение потребностей организации:
 - изучение существующих законодательных актов, регулирующих удаленную работу и информационную безопасность;
 - проведение аудита существующих систем и процессов управления удаленной работой и информационной безопасностью;
 - выявление потенциальных рисков и уязвимостей в текущих системах.
2. Разработка стратегии цифровой трансформации:
 - разработка (обновление) корпоративных стандартов и политик, регулирующих удаленную работу;
 - определение стратегии и стандартов информационной безопасности, включая защиту данных и систем;
 - разработка плана юридического аудита и сопровождения процессов внедрения и использования автоматизированных систем.
3. Внедрение технологических решений:
 - подбор необходимых инструментов для эффективной удаленной работы (например, системы управления задачами, видеоконференцсвязь);
 - реализация решений для обеспечения информационной безопасности, включая шифрование, брандмауэры, антивирусные программы;
 - введение систем автоматизации для упрощения рутинных юридических задач (управление документооборотом, архивирование и анализ документов).
4. Обучение и развитие персонала:
 - организация тренингов и семинаров по основам удаленной работы, информационной безопасности и использованию новых систем;
 - обучение юридической команды особенностям работы с автоматизированными системами и цифровыми инструментами.
5. Мониторинг и адаптация:
 - проведение регулярного анализа эффективности внедренных изменений;

- получение обратной связи от сотрудников и внесение корректировок в процессы и системы.
- 6. Непрерывное совершенствование:
 - регулярное обновление корпоративных политик и процедур с учетом изменений в законодательстве и технологических инноваций;
 - исследование новых технологических решений и возможностей для дальнейшего повышения эффективности и безопасности процессов.

Уровень цифровизации управления человеческими ресурсами в рассматриваемой компании, согласно уравнению (2а), составил: $D_{\text{УЧР}} = 0,26 \cdot 0,57 + 0,22 \cdot 0,53 + 0,17 \cdot 0,55 + 0,18 \cdot 0,31 + 0,17 \cdot 0,51 = 0,5008$, или 50,08 % – средний уровень цифровизации управления человеческими ресурсами в организации.

Заключение

1. Предложенная в статье методика количественной оценки цифровизации HR является универсальным инструментом анализа текущего состояния и измерения динамики внедрения цифровых технологий в сфере управления человеческими ресурсами. Ее преимущества:

- комплексный охват всех аспектов цифровой трансформации HR;
- использование количественных показателей;
- учет специфики организации.

2. Результаты апробации методики подтверждают ее практическую ценность и эффективность. Дальнейшие исследования будут направлены на расширение системы показателей оценки, включение факторов использования искусственного интеллекта.

3. Разработанная методология будет полезна специалистам в области управления человеческими ресурсами, а также руководителям, принимающим решения о цифровой трансформации компаний.

Список литературы

1. Ванкевич, Е. В. Технологии искусственного интеллекта в управлении человеческими ресурсами / Е. В. Ванкевич, И. Н. Калиновская // *Белорусский экономический журнал*. 2020. Т. 91, № 2. С. 38–51.
2. Vankevich A. Better Understanding of the Labour Market Using Big Data / A. Vankevich, I. Kalinouskaya // *Economics and Law*. 2021. Vol. 20, No 3. P. 677–692. <https://doi.org/10.12775/EiP.2021.040>.
3. Ванкевич, Е. В. Информационно-аналитическая система рынка труда и прогнозирования потребности в кадрах: содержание и направления формирования в Республике Беларусь / Е. В. Ванкевич, Э. Кастел-Бранко // *Белорусский экономический журнал*. 2017. № 2. С. 73–92.
4. Калиновская, И. Н. Теоретические аспекты подбора кадров с применением технологий искусственного интеллекта / И. Н. Калиновская // *Право. Экономика. Психология*. 2021. Т. 21, № 1. С. 48–64.
5. Kalinouskaya, I. Analysis of the Possibility of Applying the Concept of “HR ZERO” by Belarusian organizations / I. Kalinouskaya // *Modern Management Trends and Digital Economy: from Regional Development to Global Economic Growth: IV International Scientific and Practical Conference, 15–16 April, 2022*. Ekaterinburg: Institute of Digital Economics and Law, 2022. <https://doi.org/10.1051/shsconf/202214101018>.
6. Калиновская, И. Н. Влияние цифровизации экономики на управление человеческими ресурсами организации / И. Н. Калиновская // Четвертая промышленная революция и инновационные технологии: матер. Междунар. науч.-практ. конф. (гибридная), г. Гянжа, 3–4 мая 2023 г. Гянжа: Азербайдж. технол. ун-т, 2023. С. 127–129.
7. Калиновская, И. Н. Определение ядра компетенций HR-специалистов, траектории их профессионального роста на основе интерпретационного структурного моделирования / И. Н. Калиновская // *Социально-трудовые исследования*. 2022. Т. 49, № 4. С. 174–184. DOI: 10.34022/2658-3712-2022-49-4-174-184.
8. Топ-50 IT-компаний в Беларуси. Что изменилось после двух волн релокации [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://devby.io/news/top-50-v-rb-23>. Дата доступа: 10.08.2023.

References

1. Vankevich A. V., Kalinouskaya I. N. (2020) Artificial Intelligence Technologies in Human Resource Management. *Belarusian Economic Journal*. 91 (2), 38–51 (in Russian).
2. Vankevich A., Kalinouskaya I. (2021) Better Understanding of the Labour Market Using Big Data. *Economics and Law*. 20 (3), 677–692. <https://doi.org/10.12775/EiP.2021.040>.

3. Vankevich A. V., Castelo-Branko E. (2017) Information and Analytical System of the Labor Market and Forecasting the Need for Personnel: Content and Directions of Formation in the Republic of Belarus. *Belarusian Economic Journal*. (2), 73–92 (in Russian).
4. Kalinouskaya I. N. (2021) Theoretical Aspects of Personnel Selection Using Artificial Intelligence Technologies. *Right. Economy. Psychology*. 21 (1), 48–64 (in Russian).
5. Kalinouskaya I. (2022) Analysis of the Possibility of Applying the Concept of “HR ZERO” by Belarusian Organizations. *Modern Management Trends and Digital Economy: from Regional Development to Global Economic Growth, IV International Scientific and Practical Conference, 15–16 April, 2022*. Ekaterinburg, Institute of Digital Economics and Law. <https://doi.org/10.1051/shsconf/202214101018>.
6. Kalinouskaya I. N. (2023) The Impact of Digitalization of the Economy on the Management of Human Resources of the Organization. *The Fourth Industrial Revolution and Innovative Technologies, Materials of the International Scientific and Practical Conference, Ganja, May 3–4, 2023*. Ganja, Azerbaijan Technological University. 127–129 (in Russian).
7. Kalinouskaya I. N. (2022) Definition of the Core Competencies of HR Specialists, the Trajectory of Their Professional Growth Based on Interpretive Structural Modeling. *Social and Labor Research*. 49 (4), 174–184. DOI: 10.34022/2658-3712-2022-49-4-174-184 (in Russian).
8. *Top-50 IT Companies in Belarus. What Changed after Two Waves of Relaxation*. Available: <https://devby.io/news/top-50-v-rb-23> (Accessed 10 August 2023) (in Russian).

Сведения об авторе

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

Адрес для корреспонденции

210038, Республика Беларусь,
г. 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. of Sci., Associate Professor at the Department of Economics and Business Management, Vitebsk State Technological University

Address for correspondence

210038, 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/10.35596/1729-7648-2024-30-1-16-27>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 338.32.053+65.011.46

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ: АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ, ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ, АЛЬТЕРНАТИВНОЕ ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПО ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ

А. В. ЦЕДРИК

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

Поступила в редакцию 27.10.2023

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

Аннотация. В статье отражен ряд компонентов, характеризующих процессы цифровой трансформации энергетического комплекса Республики Беларусь: затраты по основным видам деятельности, публикационный интерес среди специалистов отрасли, нормативная и правовая основы изучения протекающего процесса. Отмечена высокая степень продвижения государства в части стандартизации и автоматизации энергетики Беларусь, в том числе в сравнении на уровне объединения ЕАЭС. Представлен ряд мер с целью перспективного функционирования отрасли в условиях санкционных ограничений на поставки оборудования и программного обеспечения. Предложено провести оценку, альтернативную показателям, обозначенным в Стратегии информатизации и цифровой трансформации ГПО «Белэнерго» на период 2021–2025 гг.

Ключевые слова: энергетика, цифровая трансформация, автоматизация, стандартизация, стратегия, офис цифровизации, эффект.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Цедрик, А. В. Цифровизация энергетического комплекса Республики Беларусь: анализ состояния, перспективные направления, альтернативное предложение по оценке эффективности / А. В. Цедрик // Цифровая трансформация. 2024. Т. 30, № 1. С. 16–27. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-1-16-27>.

DIGITALIZATION OF THE ENERGY COMPLEX OF THE REPUBLIC OF BELARUS: STATE ANALYSIS, PROMISING AREAS, ALTERNATIVE PROPOSAL FOR EVALUATING EFFICIENCY

ALEKSANDR V. TSEDRIK

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

Submitted 27.10.2023

Abstract. This article reflects a number of components that characterize the processes of digital transformation of the energy complex of the Republic of Belarus: costs for general activities, publication interest among industry specialists, the regulatory and legal basis for studying the ongoing process. A high degree of promotion of the state in terms of standardization and automation of energy in Belarus was also noted, including in comparison at the level of unification of the EAEU. A number of measures have been proposed in order to ensure the preselective functioning of the industry in the context of sanctions restrictions on the supply of equipment and software.

The author proposes to conduct such an assessment, alternative to the indicators proposed in the Strategy of informatization and digital transformation of the state association of electric power industry “Belenergo” for the period of 2021–2025.

Keywords: energy, digital transformation, automation, standardization, strategy, digitalization office, effect.

Conflict of interest. The author declares that there is no conflict of interest.

For citation. Tsedrik A. V. (2024) Digitalization of the Energy Complex of the Republic of Belarus: State Analysis, Promising Areas, Alternative Proposal for Evaluating Efficiency. *Digital Transformation*. 30 (1), 16–27. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-1-16-27> (in Russian).

Введение

В последнее десятилетие в Республике Беларусь довольно успешно развивались многие ключевые элементы цифровой экономики. Так, вместе с увеличением объемов производства товаров росли качество и объемы оказания услуг, связанных с цифровыми технологиями. Отрасль энергетики – не исключение. По скорости внедрения цифровых решений и продуктов она уступает разве только сфере финансовых и банковских технологий. Ряд показателей демонстрируют, что в Беларуси проводится курс на цифровизацию по различным видам экономической деятельности. Такой вывод можно сделать исходя из многообразия применяемых технологий и основных тенденций в ряде сфер. Среди зарубежных направлений в области исследований обеспечения энергетической безопасности – мировые энергорынки или экономические макрогруппы (например, МЕРКОСУР, НАФТА, АСЕАН), а также общественные и поведенческие аспекты деятельности энергосистем [1]. В современной белорусской науке процессы управления энергетической безопасностью основываются на возможности выбора стратегии с целью управления рисками при обеспечении экономической безопасности в целом. Основными подходами следует считать:

- принятие риска в ценообразовании тарифов под влиянием экономических рыночных механизмов (либеральная модель, когда тарифы отпускают в «свободное плавание»);
- определение рисков на начальных этапах и активное управление экономической системой с целью устранения перекрестного субсидирования, в том числе на микроуровне (как между хозяйствующими субъектами и предприятиями, так и в отношении домохозяйств);
- профилактика для уменьшения потенциально негативных последствий рисков, в том числе устранение возможности проявления рисков на государственном уровне (в дальнейшем такой подход возможно распространить на общий рынок газа, нефти и нефтепродуктов ЕАЭС).

Основная часть

Нормативная и правовая базы предметной области

Вопросами формирования и совершенствования оценки цифровизации энергетики и в частности электроэнергетического комплекса занимается ряд известных ученых, общественных деятелей, сотрудников министерств и ведомств отрасли. Среди публикаций следует выделить работы коллектива Института энергетики НАН Беларуси под научным руководством Т. Г. Зориной и С. Г. Прусова [2–5], отдельные труды В. Ф. Байнева [6], совместные белорусско-российские работы О. В. Даниловой, И. В. Новиковой и В. Б. Криштаносова [7, 8]. В поле зрения ученых и профильных ведомств Республики Беларусь находится достаточно обширный объем аспектов, проблем, которыми занимаются профильные специалисты. Проведя анализ статей, посвященных энергетической тематике (журналы «Энергетическая стратегия», «Энергоэффективность», профильная газета «Энергетика Беларуси») за 2022 год, можно отметить, что наиболее популярными аспектами, освещаемыми в них, являлись публикации, в которых были представлены:

- вопросы подготовки и переподготовки кадров;
- вопросы безопасности и охраны труда в производстве;
- комментарии к вопросам стандартизации в энергетике;
- предложения по формированию нормативно-правовой базы отрасли.

Количество публикаций по перечисленным направлениям доходило до 70 % от их общего числа. Если рассматривать вопросы, которые отражены в энергетической отрасли с позиции экономики и техники, то здесь основными рубриками за 2022 год оказались:

- формирование общих энергетических рынков нефти, нефтепродуктов и газа;
- использование и безопасность Белорусской АЭС;
- развитие электроэнергетического комплекса страны (применение энергосберегающих технологий, модернизация имеющейся инфраструктуры, тарифообразование на электрическую энергию как для домашних хозяйств, так и для субъектов предпринимательства);
- газоснабжение страны (развитие сети центров обслуживания населения, эксплуатация оборудования и трубопроводов и пр.);
- применение местных видов топлива (торфа, дров, щепы, биомассы и пр.) и возобновляемых источников энергии с целью пополнения топливно-энергетического баланса страны и экологизации производства;
- цифровая трансформация, автоматизация и диспетчеризация объединенной энергетической системы страны как на макро-, так и на микроуровне;
- развитие выставочной деятельности, семинаров и форумов, характеризующих аспекты функционирования отрасли [9].

В табл. 1 представлены нормативные и правовые документы, которые регулируют деятельность, относящуюся к процессам цифровой трансформации отрасли, и их непосредственное отношение к изучаемой проблематике исследования.

Таблица 1. Нормативные и правовые документы, регламентирующие деятельность в сфере цифровизации, автоматизации и диспетчеризации энергетики Республики Беларусь
Table 1. Regulatory and legal documents regulating activities in the field of digitalization, automation and energy dispatch of the Republic of Belarus

Документ / Document	Основное содержание документа / Main contents of the document
Концепция развития электрогенерирующих мощностей и электрических сетей на период до 2030 года	Развитие электрических сетей напряжением 0,4–10 кВ для целей отопления, горячего водоснабжения и приготовления пищи для домашних хозяйств. С 2022 г. для снижения уровня износа электросетей всех классов напряжения предусматриваются ежегодное строительство и реконструкция порядка 2,7 тыс. км линий электропередачи. По итогам 2021 г. –1,76 тыс. км
Концепция энергетической безопасности Республики Беларусь до 2035 года (постановление Совета Министров Республики Беларусь от 23.12.2015 № 1084)	Определяется сущность деятельности по обеспечению энергетической безопасности Республики Беларусь и надежности энергоснабжения отраслей экономики и населения. Одной из угроз на пути эффективного функционирования отрасли выделен пункт «недостаточный уровень автоматизации процессов управления распределительными сетями»
Указ Президента Республики Беларусь от 5 октября 2021 г. № 381 «О строительстве распределительных электрических сетей»	Установлен порядок финансирования работ по проектированию и реконструкции сетей для электроснабжения обособленных жилых домов. Закреплена норма, позволяющая гражданам участвовать в финансировании строительства электросетей в целях обеспечения возможности использования электроэнергии для различных нужд. Развитие распределительных сетей позволит повысить их пропускную способность и, соответственно, надежность работы всего электросетевого комплекса республики
Программа комплексной модернизации производств энергетической сферы на 2021–2025 гг.	Указаны мероприятия Программы, источники финансирования; объекты, на которые распространена модернизация; концептуальный план по ускоренному и устойчивому развитию газовой отрасли на 2021–2025 гг.
Стратегия информатизации и цифровой трансформации ГПО «Белэнерго» на период 2021–2025 гг.	Основополагающий документ в сфере цифровизации отрасли Республики Беларусь – утверждает основные мероприятия и план первоочередных действий по цифровизации, автоматизации и диспетчеризации отрасли. Предложены 16 показателей для оценки эффективности цифровой трансформации энергетики

Окончание табл. 1
Ending of Tab. 1

Документ / Document	Основное содержание документа / Main contents of the document
Указ Президента Республики Беларусь от 7 апреля 2022 г. № 136 «Об органе государственного управления в сфере цифрового развития и вопросах информатизации»	Определяет общее цифровое развитие государства и степень регулирования в сфере цифрового развития. Для отрасли энергетики отдельным пунктом и важным с точки зрения понимания процессов может стать прорабатываемый в настоящий момент проект под названием «Офис цифровизации»
Стандарт ГПО «Белэнерго» СТП 33240.20.117–18 «Цифровые подстанции. Требования к проектированию»	Устанавливает требования к проектированию цифровой подстанции с номинальным высшим напряжением 110–750 кВ, нацеленные на повышение надежности, безопасности и снижение совокупных расходов на проектирование, строительство и эксплуатацию цифровых подстанций
<i>Источник:</i> Составлено автором на основе документов, указанных в таблице.	

Иновации

Предметный интерес к цифровизации отрасли демонстрируют резиденты Парка высоких технологий (ПВТ) Республики Беларусь. Компании-резиденты ПВТ, предлагающие решения и продукты в области цифровизации энергетики, экологической безопасности, автоматизации процессов минерально-сырьевого обеспечения и горнодобывающей промышленности представлены в табл. 2. Один из реализуемых крупных проектов в сфере цифровизации и автоматизации отрасли – формирование так называемого IT-офиса, либо офиса цифровизации. Основная цель, которую преследует данный проект, – средоточие человеческих, интеллектуальных и аппаратно-программных ресурсов с последующей разработкой новых и эксплуатационной поддержкой имеющихся информационных систем, в том числе приобретение и внедрение разработок сторонних компаний либо лицензионного, вышедшего в тираж, программного обеспечения. Головной организацией по реализации такого проекта в энергетической отрасли выступает ГПО «Белэнерго».

Таблица 2. Компании-резиденты ПВТ, предлагающие решения и продукты в области цифровизации и автоматизации процессов
Table 2. НТР resident companies offering solutions and products in the field of digitalization and process automation

Компания, организация / Company, organization	Специализация, отношение к цифровизации и автоматизации процессов / Specialization, attitude towards digitalization and process automation
ООО «АйСиЭс Бел»	Крупный белорусский разработчик программного обеспечения (ПО). Специализируется на разработке, внедрении и сопровождении ERP и CRM-систем для средних и крупных предприятий из разных отраслей. В портфеле решений имеются проекты в промышленном производстве, в том числе в горнодобывающей отрасли страны
ООО «Альфа Орион»	Создает профессиональные дроны для бизнеса и госслужб. С их применением команда компании инспектирует энергетическую и транспортную инфраструктуру, строительные объекты и территории, а также перевозит грузы до 7 кг
ООО «Белспецкомплект»	Специализируется на разработке инновационной технологии переработки фосфорогипсовых отходов для производства высокотехнологичных импортозамещающих и экспортно ориентированных продуктов
ООО «Гринмайнер»	Специализируется на майнинге криптовалют. Компания основана в 2019 г. В настоящее время штат компании состоит из трех человек. Имеет глубокую экспертизу в сфере майнинга, в своей деятельности использует возобновляемые источники энергии в качестве майнинга
Компания «Иннерика»	Разрабатывает ПО для удаленного мониторинга бурения скважин в режиме реального времени

Окончание табл. 2
Ending of Tab. 2

Компания, организация / Company, organization	Специализация, отношение к цифровизации и автоматизации процессов / Specialization, attitude towards digitalization and process automation
ООО «ИнноТехСолошнс»	Белорусская компания-разработчик ПО и решений в сфере информационной безопасности. Имеет специальное разрешение (лицензию) Оперативно-аналитического центра при Президенте Республики Беларусь, наделена правом осуществлять деятельность по технической и/или криптографической защите информации и проектированию, созданию, аудиту систем информационной безопасности критически важных объектов информатизации. Специалисты компании разрабатывают программно-технические решения для ведущих отраслей и сфер деятельности, в том числе в энергетике
ООО «Кватек»	Разрабатывает ПО полного цикла. Заявленный фокус – развитие компетенций и навыков сотрудников. Направления интересов и решений различны, в том числе – экологически чистая энергетика
ООО «КОЭЛС-БЕЛ»	Проектирование и производство высоковольтных электрических систем и сложных программно-аппаратных комплексов
ООО «Микасенсор»	Белорусская организация – разработчик приборов и программно-аппаратных комплексов. Специализируется на разработке промышленного оборудования контроля наличия в окружающей среде вредных факторов, воздействующих на человека, реализации произведенной продукции, на оказании сопутствующих услуг
ООО «Нива-Мотор»	Разработка и производство высокотехнологичных устройств и систем, программно-аппаратных средств, программно-аппаратных комплексов и совместимого с ними программного обеспечения для горнодобывающей промышленности
ООО «Прикладные системы»	Разработчик промышленного программного обеспечения. Компания основана в 1997 г., специализируется на разработке решений по комплексной автоматизации оборудования и технологических процессов в обрабатывающей промышленности, альтернативной и традиционной энергетике, горно-химической отрасли. Стек технологий – ASP.Net, C++, C#, HTML, JavaScript и др. Внедренная в компании система менеджмента качества соответствует требованиям международного стандарта ISO 9001:2008. Компания получила статус Microsoft Gold Certified Partner в компетенции «Разработка приложений»
ООО «Р-НОКС»	Белорусская научно-производственная компания, специализирующаяся на разработке и производстве инновационных решений в области мониторинга качества воздуха для обеспечения эффективного управления экологической безопасностью с использованием новейших технологий в области машинного обучения, BigData, интернета вещей
ООО «СЕНЛА ГРУП»	Разработка заказного ПО в области финансовых технологий, медицины, фармацевтики, нефтегазового сектора, машиностроения и производства, онлайн-бизнеса и др.
ООО «Сител»	Компания основана в 2009 г. Специализация – проектирование, строительство слаботочных сетей, систем зданий и сооружений, промышленной автоматики. Проекты выполнялись для таких компаний отрасли, как РУП «Гомельэнерго», РУП «Гродноэнерго», АО «Транснефть – Дружба», ГПО «Белоруснефть», ОАО «Белоозерский энергомеханический завод» и др.
Компания «Софтмакс системы телеметрии»	Белорусская организация – разработчик ПО. Основана в 2012 г., специализируется на разработке программных продуктов, оказании услуг по внедрению автоматизированных систем в газораспределении, магистральном транспорте газа, углеводородов и их продуктов
<i>Примечание – Составлено автором на основе данных официального сайта администрации ПВТ Республики Беларусь согласно реестру резидентов (август 2023 г.).</i>	

Понятие «офис цифровизации» введено в обиход не так давно. Точкой отсчета для Республики Беларусь следует считать подписанный Главой государства А. Г. Лукашенко Указ от 7 апреля 2022 г. № 136 «Об органе государственного управления в сфере цифрового развития и вопро-

сах информатизации» [10]. Существующие функции могут быть возложены как на структурное подразделение организации, так и на юридическое лицо, подчиненное госоргану (организации). Пока следует констатировать, что этот вопрос однозначно не определен. Однако данный указ четко регламентирует функции и дает перспективную оценку деятельности такого рода «офису». В разработке принимали участие как представители Минэнерго, так и практики из ГПО «Белтопгаз», ГПО «Белэнерго», ОАО «Белэнергоремналадка» и ряда других организаций отрасли. Офис цифровизации, как юридическое лицо на законодательном уровне, наделяется правами по оказанию на договорной основе широкого спектра услуг в области ИТ для госорганов. При этом его деятельность может ориентироваться как на решение задач отрасли, так и на обеспечение нужд отдельных предприятий.

Интеграционные процессы

Несмотря на проделанную работу как в части закрепления нормативно-правовых основ процесса цифровизации отрасли, так и внедрения ряда решений, проектов и продуктов отрасли, специалистами отмечается существенная разбежка в регламентации, четком закреплении понятийно-категориального аппарата, применяемого для описания специфики деятельности и проработки единого стандарта терминов цифровой трансформации. Эта проблема имеется как на национальном уровне, так и на уровне ряда интеграционных объединений, в которые входит Беларусь. Проблема данного вопроса заключена в том, что развитие процессов автоматизации и масштабный переход от аналоговых к цифровым технологиям привели к появлению новых технических понятий, которые вошли в употребление в профессиональной среде. Несмотря на то что многие институты развития различного уровня (международные организации, госорганы, корпорации и компании, научные организации) предложили свои определения с описаниями этих понятий, в том числе и для энергетики, общепринятых определений в части автоматизации и цифровизации продуктов и решений на сегодняшний день не сложилось ни в научной литературе, ни в международных руководствах по статистическому измерению, ни в государственных документах.

С целью оценки происходящих процессов цифровизации в Беларуси важен сравнительный анализ среди государств, с которыми республика имеет наиболее тесные экономические, кооперационные и политические отношения. Таким экономическим союзом является ЕАЭС. В государствах Содружества применяется ряд международных стандартов (табл. 3), которые существенно не отличаются от международных. В ряде случаев имеет место их адаптация к национальным условиям, как в Беларуси, Кыргызстане, России. Собственные государственные стандарты наиболее проработаны в Российской Федерации и Республике Беларусь.

Таблица 3. Стандарты, применяемые в цифровом секторе энергетики среди государств СНГ
Table 3. Standards applied in the digital energy sector among CIS countries

Информация / Information		Армения / Armenia	Беларусь / Belarus	Казахстан / Kazakhstan	Кыргызстан / Kyrgyzstan	Россия / Russia
Применение международных стандартов	ISO/МЭК 27000	+	–	–	–	–
	ISO 27001	–	–	+	–	–
	NIST SP 800-53	+	–	–	–	–
	МЭК 60870	–	+	+	–	+
	МЭК 61850	–	+	+	–	+
	МЭК 61968	–	+	–	+	–
	МЭК 61970	–	+	–	–	+
Применение национальных стандартов	ГОСТ Р 59947-202	–	–	–	–	+
	ГОСТ Р 58651	–	–	–	–	+
	ГОСТ Р 57114-201	–	–	–	–	+
	ГОСТ Р 57114-201	–	–	–	–	+
	ГОСТ Р 59950-202	–	–	–	–	+
	ТКП 609-201	–	+	–	–	–
	ТКП 33240.20.1	–	+	–	–	–
	СТП 33240.01.1	–	+	–	–	–
СТО 569470	–	–	–	+	+	

Примечание – Составлено на основе [11, с. 11].

В качестве основной меры для унификации стандартов и создания единой информационной базы цифровизации электроэнергетики предлагается распространить внедрение адаптированных к национальным условиям группы стандартов, имеющих положительный опыт применения. Для оптимального эффективного управления существующими энергосистемами в реальном режиме времени, планирования развития энергосистем и межсистемных связей, обеспечения и совершенствования работы рынков создания энергии и поддержания мощностей с использованием цифровых технологий необходим беспрепятственный и эффективный обмен информацией между всеми субъектами топливно-энергетического комплекса (ТЭК). Важными задачами сотрудничества в этой области представляются:

- проработка и принятие отраслевых стандартов с целью построения единых информационных моделей как для бесперебойного функционирования объединенной энергосистемы в целом, так и для ее отдельных субъектов (ближнесрочная перспектива);
- разработка и принятие системы отраслевых стандартов, описывающих единую систему интерфейсов прикладного уровня и обеспечивающих интеграцию приложений (среднесрочное планирование);
- создание общей современной цифровой образовательной среды как области обучения и сферы научных коммуникаций в области цифровизации электроэнергетики (долгосрочный эффект);
- переход к работе энергосистем на собственное программное обеспечение с операционной системой (ОС) Linux, в том числе создание обновлений на базе этой же ОС.

Однако проекты цифровой трансформации ТЭК (в том числе электроэнергетики), реализуемые, к примеру, в государствах-участниках СНГ, в состав которого входит Беларусь, демонстрируют разную степень и глубину проработки этой проблематики. Многими специалистами отмечено существенное продвижение именно у Беларуси (табл. 4) и России в части стандартизации автоматизации таких проектных технологий.

Таблица 4. Технологии, применяемые или находящиеся на стадии внедрения в энергетической отрасли Беларуси (на июль 2022 г.)

Table 4. Technologies used or at the stage of implementation in the energy industry of Belarus (as of July 2022)

АСКУЭ	SCADA	Цифровая подстанция / Digital substation	CIM	Smart Grid	Demand Response	Цифровые двойники / Digital twins	Специальное ПО (типа CAD и MES) / Special software (such as CAD and MES)
3	3	3	3	2	0	1	1

Обозначения: АСКУЭ – автоматизированная система комплексного учета электроэнергии. 0 – не планируется; 1 – ведется работа/планируется; 2 – на стадии пилотных проектов; 3 – массово внедрено.
Примечание – Составлено на основе [11, с. 13].

Электроэнергетика

Возможности и перспективы обмена опытом и совместной реализации национальных проектов цифровизации в электроэнергетике велики, что ставит задачу интенсификации сотрудничества в области цифровизации электроэнергетики государств-участников СНГ на корпоративном уровне. Следует также отметить, что Республика Беларусь является полноправным членом и активным участником Межгосударственного технического комитета по стандартизации (МТК) 541 «Электроэнергетика» [11]. Кроме Беларуси в него входят государства ЕАЭС и Узбекистан. МТК 541 был ранее создан на базе российского Технического комитета по стандартизации 016 «Электроэнергетика». Эффект от формирования такой структуры в будущем будет оценен. Но уже возможно дать оценку основным и промежуточным результатам, к которым следует отнести:

- разработку восьми действующих ГОСТов и стандартов в области цифровизации электроэнергетики (на июль 2022 г.);
- сокращение киберпреступлений, направленных на электросетевую инфраструктуру стран, входящих в деятельность МТК 541;
- гармонизацию ряда программ, указов и декретов, регулирующих функционирование данной отрасли в правовом поле, и создание на этой базе концептуального программного докумен-

та «Цифровая трансформация электроэнергетики» в рамках «Концепции сотрудничества государств-участников СНГ в сфере энергетики на период до 2035 года».

Следует также отметить, что в 2021 г. в части процессов цифровой трансформации энергетики были закреплены методологические основы оценки цифровой трансформации в электроэнергетике Беларуси. Этим документом стал приказ ГПО «Белэнерго» от 09.04.2021 № 752, в котором утверждена Стратегия информатизации и цифровой трансформации ГПО «Белэнерго» на период 2021–2025 гг.¹. Согласно этому документу, оценку эффективности принято проводить на основе 15 показателей в разрезе шести областных энергосистем и в целом по ГПО «Белэнерго».

В [2, 3, 5] проведена оценка предлагаемых индикаторов на предмет возможности (реалистичности) их расчета, в том числе на основании существующих статистических данных; необходимости разработки дополнительных форм отчетности; степени воздействия цифровой трансформации непосредственно на достижение показателя вне зависимости от других влияющих факторов. Применяемый подход опирается на исследование Института энергетических исследований Российской академии наук и отражен в виде материала², имеющегося в свободном для ознакомления доступе. Данный подход при выборе индикаторов для оценки цифровой трансформации энергетического комплекса в целом продемонстрировал свою состоятельность и дает понимание об уровне развития и применения цифровых продуктов и решений в отрасли. Вместе с тем сама система оценки не должна быть статична, ведь с уровнем развития технических решений дробятся либо актуализируются новые индикаторы оценки.

Так, автором предлагается провести собственную методику расчета эффективности использования цифровых технологий в энергетической отрасли, имеющую отличие от оценки иной группы экономических показателей, не эквивалентных показателям Стратегии информатизации и цифровой трансформации ГПО «Белэнерго» на 2021–2025 гг. Список показателей, по которым проводилось исследование в части оценки эффективности цифровой трансформации энергетического комплекса Республики Беларусь, приведен в табл. 5. Представленные данные взяты из [12]. Разрабатываемый интегральный показатель предлагается рассчитать методом экспертных оценок с присвоением определенного ранга (балла) для каждого из 15 основных показателей.

Таблица 5. Показатели для оценки эффективности цифровой трансформации на основе Белстата
Table 5. Indicators for assessing the effectiveness of digital transformation based on Belstat

№	Показатель для оценки / Indicators for evaluation	
	от ГПО «Белэнерго» / from SPA “Belenergo”	авторский / author's
1	Доля цифровых подстанций 35 кВ и более	Данные об организациях, имевших веб-сайт, использовавших облачные сервисы и технические средства для беспроводного доступа к глобальной компьютерной сети интернет, уд. вес, %
2	Степень автоматизации распределительных электрических сетей 0,4–10,0 кВ	Доступ организаций к глобальным информационным и локальным вычислительным сетям, уд. вес, %
3	Доля объектов энергетической отрасли, интегрированных в автоматизированную систему контроля и учета электрической энергии межгосударственных межсистемных перетоков и генерации	Данные об организациях, использовавших специальные программные средства, уд. вес, %

¹ Стратегия информатизации и цифровой трансформации ГПО «Белэнерго» на период 2021–2025 гг.: приказ ГПО «Белэнерго» от 09.04.2021 № 752 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cis.minsk.by/reestr2/doc/6704#text>. Дата доступа: 04.09.2023.

² Измерение и оценка результатов и эффектов цифровой трансформации топливно-энергетического комплекса: матер., подготов. ИНЭИ РАН по результ. выполнения НИР «Разработка научно обоснованных предложений по измерению и оценке результатов и эффектов цифровой трансформации топливно-энергетического комплекса» [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://in.minenergo.gov.ru/upload/iblock/29a/29a0484_ea0e4bd272252a486a80f2c32.pdf. Дата доступа: 18.10.2023.

Окончание табл. 5
Ending of Tab. 5

№	Показатель для оценки / Indicators for evaluation	
	от ГПО «Белэнерго» / from SPA “Belenergo”	авторский / author's
4	Доля объектов энергетической отрасли, интегрированных в региональную автоматизированную систему контроля и учета электрической энергии	Количество организаций, использовавших информационно-коммуникационные технологии, ед.
5	Доля промышленных и приравненных к ним потребителей с присоединенной мощностью 250 кВт·А и более, интегрированных в автоматизированную систему контроля и учета электроэнергии	Наличие (количество) в организациях машин и оборудования, созданных на базе передовых производственных технологий, по виду экономической деятельности (как ед., так и уд. вес (%)).
6	Доля бытовых потребителей, интегрированных в автоматизированную систему контроля и учета электроэнергии	Распределение организаций по виду подключения к сети интернет (по стационарному широкополосному, беспроводному и беспроводному широкополосному доступам)
7	Доля энергоисточников, оснащенных автоматизированной системой управления технологическими процессами	Удельный вес организаций по максимальной скорости передачи данных через сеть интернет (градационно, Мбит/с) в общем числе организаций, имевших доступ к сети интернет, %
8	Доля объектов энергетической отрасли, оснащенных автоматизированной системой контроля качества электроэнергии	Списочная численность работников, использовавших информационно-коммуникационные технологии (ИКТ) на конец года (как в % от всех занятых в экономике, так и в количестве чел.)
9	Степень автоматизации контроля сотрудников	Списочная численность специалистов по ИКТ на конец года (уд. вес как по уровню квалификации, %, так количество чел. от занятых во всем секторе ИКТ)
10	Степень автоматизации документооборота	Распределение организаций по целям использования сети интернет (цели общего характера), % к общему числу организаций, имевших доступ к сети интернет
11	Доля взаимодействий с иностранными (международными) компаниями, реализованных путем электронного документооборота	Распределение организаций по целям использования сети интернет (для связи с поставщиками), % к общему числу организаций, имевших доступ к сети интернет
12	Степень автоматизации принятия решений	Распределение организаций по целям использования сети интернет (для связи с потребителями), % к общему числу организаций, имевших доступ к сети интернет
13	Доля закупок, проведенных на электронных торговых площадках	Распределение организаций по целям использования сети интернет (взаимодействие с государственными органами (организациями)), % к общему числу организаций, имевших доступ к сети интернет
14	Индикатор наличия системы, позволяющей оценивать качество продукции, качество обслуживания в режиме онлайн	Данные об организациях, осуществлявших электронные продажи, закупки товаров (работ, услуг), % к общему числу обследованных организаций
15	Степень информатизации взаимодействующих организаций	Затраты организаций на разработку, внедрение и использование цифровых технологий для собственного потребления по виду экономической деятельности, тыс. руб.
Примечание – Составлено на основе [2, 5, 12].		

Следует отметить, что положения Стратегии ГПО «Белэнерго» не статичны, ряд новелл претерпевают изменения и дополнения и развиваются с опорой на происходящие события в отрасли. Так, в Стратегию уже внесены изменения, учитывающие технические аспекты и новации в законодательстве. И далее приоритет будет отдаваться сетевым инфраструктурным объектам, строительству (реконструкции) распределительных сетей, которые связаны с увеличением использования электроэнергии для целей отопления и горячего водоснабжения, с широкомасштабным использованием электроэнергии реальным сектором экономики республики.

Результаты исследований и их обсуждение

Важно отметить ряд особенностей Стратегии ГПО «Белэнерго». Первое – достаточно узкий спектр целей и задач цифровой трансформации Белорусской энергосистемы. Этим можно объяснить прагматизм при ее создании. В момент написания документа было решено, что не следует загромождать Стратегию, а особенно давать характеристики нереализуемым либо необъятным этапам. Внимание сконцентрировали на актуальных и важнейших процессах в энергосистеме [13], а именно: управление электросетями, оперативно-диспетчерское управление, управление процессами (ресурсы, финансы, технологии) в рамках отрасли, управление бизнес-процессами на уровне субъекта хозяйствования, кибербезопасность, криптографическое шифрование, мониторинг уровня безопасности информационных систем. Примером таких мероприятий, осуществляемых в объединенной энергосистеме Беларуси, является реализация Программы модернизации средств учета электрической энергии до 2023 года. В ней закреплены механизм и мероприятия для осуществления замены индукционных приборов учета электрической энергии на электронные для возможности последующего их объединения в систему АСКУЭ. В остальном акцент смещен на отдельные мероприятия, среди которых:

- автоматизация большинства процессов на платформах 1С:Предприятие и SAP;
- построение элементов системы управления электрическими сетями Smart Grid;
- построение системы автоматического регулирования частоты и перетоков мощности объединенной энергосистемы Беларуси;
- полноформатное построение системы АСКУЭ и др.

Заключение

1. Отражен ряд компонентов, характеризующих процессы цифровой трансформации энергетического комплекса Республики Беларусь: тенденции в области изучаемой проблематики, публикационный интерес среди специалистов отрасли, ряд проектов со стороны Парка высоких технологий в части цифровизации и автоматизации энергетики и горнодобывающей промышленности, нормативная и правовая основы изучения протекающего процесса.

2. Предложено провести оценку эффективности цифровой трансформации энергетического комплекса Республики Беларуси, которая не войдет в противоречие с действующей оценкой уровня цифровой трансформации отрасли согласно Стратегии информатизации и цифровой трансформации ГПО «Белэнерго» на период 2021–2025 гг. Предлагаемые показатели аккумулируются исключительно в статистическом бюллетене Белстата и способны в большей степени оценить уровень эффективности использования информационно-коммуникационных технологий с учетом имеющейся инфраструктуры для их функционирования в энергетике. Данная оценка позволит увидеть недостатки и угрозы и принять оперативное решение для успешного функционирования энергетической отрасли Республики Беларусь.

3. В целях бесперебойного функционирования энергетики Беларуси в условиях цифровой трансформации рекомендовано продолжить формирование четкого закрепления понятийно-категориального аппарата, применяемого для описания специфики деятельности, а также выработать единый стандарт терминов цифровой трансформации, поскольку специалистами отмечена разбежка в части стандартизации между национальными и международными нормативами.

Список литературы

1. Цифровая трансформация: ожидания и реальность: докл. к XXIII Ясинской (Апрельской) междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества, г. Москва, 2022 г. / Г. И. Абдрахманова, [и др.]. М.: Изд. дом Высш. шк. экон., 2022.
2. Зорина, Т. Г. Совершенствование методологии оценки цифровой трансформации объединенной энергетической системы Республики Беларусь. Проблемы и перспективы / Т. Г. Зорина, С. Г. Прусов // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13, № 3. С. 99–113.
3. Зорина, Т. Г. Методические подходы к совершенствованию оценки эффективности цифровой трансформации энергетики Республики Беларуси / Т. Г. Зорина, С. Г. Прусов // Вестник Брестского государственного технического университета. 2022. № 2. С. 176–181.
4. Зорина, Т. Г. Трансформация энергетического комплекса Республики Беларусь: от энергобезопасности к концепции устойчивого развития / Т. Г. Зорина // Белорусский экономический журнал. 2021. № 4. С. 27–40.
5. Зорина, Т. Г. Цифровая трансформация электроэнергетики Беларуси в рамках общих подходов к цифровизации ТЭК стран СНГ / Т. Г. Зорина, С. Г. Прусов // Наука и инновации. 2022. № 2. С. 59–65.
6. Байнев, В. Ф. Энергия как фактор производства и движущая сила индустриализации / В. Ф. Байнев // Экономическая наука сегодня: сб. науч. ст. Минск: Белор. нац. техн. ун-т, 2019. Вып. 10. С. 26–40.
7. Данилова, О. В. Проблемы цифровизации ключевых секторов экономики в Российской Федерации и Республике Беларусь: Smart Grid в электроэнергетике / О. В. Данилова, И. В. Новикова, В. Б. Криштаносов // Труды БГТУ. Серия 5. Экономика и управление. 2021. Т. 250, № 2. С. 5–14.
8. Данилова, О. В. Цифровые технологии и перспективы развития электросетевого комплекса России / О. В. Данилова // Вестник Тверского государственного университета. 2019. Т. 46, № 2. С. 95–104.
9. Цедрик, А. В. Цифровой компонент развития энергетики в Республике Беларусь / А. В. Цедрик // Проблемы прогнозирования и государственного регулирования социально-экономического развития: матер. XXIV Междунар. науч. конф., г. Минск, 19–20 октября 2023 г. В 3 т. Минск: НИЭИ М-ва экономики Респ. Беларусь, 2023. Т. 2. С. 234–236.
10. Об органе государственного управления в сфере цифрового развития и вопросах информатизации: Указ Президента Республики Беларусь от 5 октября 2021 г. № 136. Минск: М-во информ. и связи Респ. Беларусь, 2021.
11. Купчиков, Т. В. Цифровизация – «окно возможностей» для повышения эффективности и управляемости энергосистем государств-участников СНГ / Т. В. Купчиков. Нур-Султан (Астана): Исполнит. комитет Электроэнерг. совета СНГ, 2022. С. 11–13.
12. Использование цифровых технологий в Республике Беларусь в 2022 году: статистический бюллетень. Минск: Нац. статист. комитет Респ. Беларусь, 2023.
13. Автоматизация и цифровая трансформация: бюллетень ГПО «Белэнерго». Минск: М-во энерг. Респ. Беларусь, 2022.

References

1. Abdrakhmanova G. I., Vasilkovsky S. A., Vishnevsky K. O., Gershman M. A., Gokhberg L. M., Grebenyuk A. Yu., et al. (2022) Digital Transformation: Expectations and Reality. *Reports to the XXIII Yasinsky (April) International. Scientific Conference on the Development of the Economy and Society*. Moscow, Publishing House of the Higher School of Economics (in Russian).
2. Zorina T. G., Prusov S. G. (2021) Improving the Methodology for Assessing the Digital Transformation of the United Energy System of the Republic of Belarus. *Problems and Prospects. Bulletin of Kazan State Energy University*. 13 (3), 99–113 (in Russian).
3. Zorina T. G., Prusov S. G. (2022) Methodical Approaches to Improving the Assessment of the Efficiency of the Digital Energy Transformation of the Republic of Belarus. *Bulletin of the Brest State Technical University*. (2), 176–181 (in Russian).
4. Zorina T. G. (2021) Transformation of the Energy Complex of the Republic of Belarus: from Energy Security to the Concept of Sustainable Development. *Belarusian Economic Journal*. (4), 27–40 (in Russian).
5. Zorina T. G., Prusov S. G. (2022) Digital Transformation of the Electric Power Industry of Belarus Within the Framework of General Approaches to the Digitalization of the Fuel and Energy Complex of the CIS Countries. *Science and Innovation*. (2), 59–65 (in Russian).
6. Baynev V. F. (2019) Energy as a Factor in Production and the Driving Force of Industrialization *Economic Science Today: Collection of Scientific Articles*. Minsk, Belarusian National Technical University. (10), 26–40 (in Russian).

7. Danilova O. V., Novikova I. V., Krishtanosov V. B. (2021) Problems of Digitalization of Key Sectors of the Economy in the Russian Federation and the Republic of Belarus: Smart Grid in the Electric Power Industry. *Proceedings of BSTU*. 250 (2), 5–14 (in Russian).
8. Danilova O. V. (2019) Digital Technologies and Prospects for the Development of the Electric Grid Complex of Russia. *Bulletin of Tver State University*. 46 (2), 95–104 (in Russian).
9. Tsedrik A. V. (2023) Digital Component of Energy Development in the Republic of Belarus. *Problems of Forecasting and State Regulation of Socio-Economic Development: Materials of the XXIV International Scientific Conference, Minsk, Oct. 19–20, 2023. Vol. 2*. Minsk, NIEI of the Ministry of Economy of the Republic of Belarus. 234–236 (in Russian).
10. On the Public Administration Body in the Field of Digital Development and Informatization. *Decree of the President of the Republic of Belarus from 5 Oct. 2021 No 136*. Minsk, Ministry of Informatization and Communications of the Republic of Belarus (in Russian).
11. Kupchikov T. V. (2022) *Digitalization is the “Window of Opportunity” to Increase Efficiency and Controllability of Energy Systems of the CIS Member States*. Nur-Sultan (Astana), Executive Committee of the CIS Power Engineering Council. 11–13 (in Russian).
12. The Use of Digital Technologies in the Republic of Belarus in 2022. *Statistical Bulletin, National Statistical Committee of the Republic of Belarus*. Minsk. 2023 (in Russian).
13. Automation and Digital Transformation. *Bulletin of GPO “Belenergo”*. Minsk, Ministry of Energy of the Republic of Belarus. 2022 (in Russian).

Сведения об авторе

Цедрик А. В., ст. науч. сотр. Института экономики
Национальной академии наук Беларуси

Адрес для корреспонденции

220072, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. Сурганова, 1–2
Институт экономики
Национальной академии наук Беларуси
Тел.: +375 29 863-08-69
E-mail: aleksandr.cedrik.90@mail.ru
Цедрик Александр Вячеславович

Information about the author

Tsedrik A. V., Senior Researcher at the Institute
of Economics of the National Academy of Sciences
of Belarus

Address for correspondence

220072, Republic of Belarus,
Minsk, Surganova St., 1–2
Institute of Economics
of the National Academy of Sciences of Belarus
Tel.: +375 29 863-08-69
E-mail: aleksandr.cedrik.90@mail.ru
Tsedrik Aleksandr Vyacheslavovich



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-1-28-39>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 332.72

ВИРТУАЛЬНАЯ НЕДВИЖИМОСТЬ: НОВЫЙ ТРЕНД ИЛИ ГЛОБАЛЬНАЯ АФЕРА?

А. И. ЧИГРИНА¹, Д. А. ПАНКОВ²

¹Гродненский государственный университет имени Янки Купалы (г. Гродно, Республика Беларусь)

²Белорусский государственный экономический университет (г. Минск, Республика Беларусь)

Поступила в редакцию 27.10.2023

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

Аннотация. Проведено исследование понятия «виртуальная недвижимость», рынок которой развивается на фоне возникновения метавселенных. Текущий тренд развития интернета предполагает слияние игровой и социальной жизни, что формирует огромную, быстрорастущую экономику потребления виртуальных товаров. Основным фактором корректировки тренда цифрового развития является эволюция взаимодействия интернета и пользователей, поэтому в статье рассмотрены особенности и отличительные признаки web 1.0, web 2.0 и web 3.0. Показаны технические решения, отличающие web 3.0, способствующие расширению возможностей вовлечения потребителей в виртуальный мир и формированию собственной виртуальной экономики. Исследовано понятие «метавселенная», выделены ключевые характеристики. Установлено, что метавселенная представляет собой гибридный виртуального и физического мира, создающий пространство для общения, жизни и работы. Рынок метавселенных растет, что делает его привлекательным для инвесторов, одним из способов инвестирования для которых становится покупка виртуальной земли и недвижимости. Виртуальную недвижимость нельзя потрогать, но она имеет ценность, растет в цене, что делает ее привлекательным объектом инвестиций. Покупка виртуальной недвижимости осуществляется за настоящие деньги. Виртуальная недвижимость представляет собой участки земли в виртуальном пространстве, на которых возможно строить объекты и участвовать в игре. Статья помогает понять, что же такое виртуальная недвижимость – очередная глобальная афера или привлекательная инвестиция.

Ключевые слова: цифровизация, рынок недвижимости, интернет, web 3.0, виртуальная недвижимость, виртуальная собственность, технологические изменения.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарность. Статья подготовлена в рамках гранта Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, договор от 02.05.2023 № Г23У-010 на выполнение научно-исследовательской работы.

Для цитирования. Чигрина, А. И. Виртуальная недвижимость: новый тренд или глобальная афера? / А. И. Чигрина, Д. А. Панков // Цифровая трансформация. 2024. Т. 30, № 1. С. 28–39. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-1-28-39>.

VIRTUAL REAL ESTATE: NEW TREND OR GLOBAL SCAM?

NASTASSIA I. CHYHRYNA¹, DMITRIY A. PANKOV²

¹*Yanka Kupala State University of Grodno (Grodno, Republic of Belarus)*

²*Belarus State Economic University (Minsk, Republic of Belarus)*

Submitted 27.10.2023

Abstract. The paper studies the concept of “virtual real estate”, the market of which is developing against the backdrop of the emergence of metaverses. The current trend in the development of the Internet involves the merging of gaming and social life, which forms a huge, rapidly growing economy of consumption of virtual goods. The main factor in adjusting the trend of digital development is the evolution of the interaction between the Internet and users, therefore, the article initially considered the features and distinctive features of web 1.0, web 2.0, web 3.0. The technical solutions that distinguish web 3.0 are shown, contributing to the expansion of opportunities for involving consumers in the virtual world and the formation of their own virtual economy. Further, the concept of “metaverse” is investigated, key characteristics are highlighted. It has been established that the metaverse is a hybrid of the virtual and physical worlds, creating a space for communication, life and work. The metaverse market is growing, which makes it attractive to investors, one of the ways to invest for which is to purchase virtual land and real estate. Virtual real estate cannot be touched, but it has value, increases in price, which makes it an attractive investment. The purchase of virtual real estate is carried out for real money. Virtual real estate is a piece of land in a virtual space on which it is possible to build objects and participate in the game. The article is an opportunity to understand what virtual real estate is - another global scam or an attractive investment.

Keywords: digitalization, real estate market, internet, web 3.0, virtual real estate, virtual property, technological changes.

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

Gratitude. The article was prepared within the framework of a grant from the Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research, agreement dated 02.05.2023 No G23U-010 for research and development work.

For citation. Chyhryna N. I., Pankov D. A. (2024) Virtual Real Estate: New Trend or Global Scam? *Digital Transformation*. 30 (1), 28–39. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-1-28-39> (in Russian).

Введение

Одним из самых актуальных направлений исследований в настоящее время является цифровизация. Более 80 % всех научных работ так или иначе посвящены проблемам цифровизации самых разных сфер жизни. Важность цифровизации подчеркивается и на государственном уровне. Так, в России принята программа «Цифровая экономика Российской Федерации»¹. Во исполнение поручений Президента Российской Федерации разработаны и утверждены стратегии цифровой трансформации ключевых отраслей экономики, социальной сферы и государственного управления. Министерством связи и информатизации Республики Беларусь разработана и представлена Государственная программа «Цифровое развитие Беларуси»² на 2021–2025 гг., предусматривающая выполнение мероприятий по созданию и развитию современной информационно-коммуникационной инфраструктуры, внедрению цифровых инноваций в отраслях экономики и технологий «умных городов», а также обеспечению информационной безопасности таких решений. Вместе с тем цифровизацию очень часто рассматривают исключительно как внедрение дополнительных инновационных технических, программных возможностей и передовых технологий, способных облегчить взаимосвязи между субъектами. Когда речь идет о цифровизации рынка недвижимости, часто ее сводят к созданию и использованию PropTech, как совокупности технологических инновационных продуктов, используемых при организации взаимодействий различных бизнес-моделей в сфере недвижимости.

¹ Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации»: утв. протоколом заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам от 4 июня 2019 г. № 7. https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/858/?utm_referrer=https%3a%2f%2fyandex.by%2f.

² О Государственной программе «Цифровое развитие Беларуси» на 2021–2025 годы: постановление Совета Министров Республики Беларусь от 2 февраля 2021 г. № 66. https://mpt.gov.by/sites/default/files/gos-programma_post_1.docx.

Однако цифровизация – это не только технологические решения, это перевод многих отношений, в том числе экономических, в цифровое пространство. Подходя к цифровизации с данной позиции, авторы статьи изучили новое понятие, возникшее в условиях цифровой трансформации рынка недвижимости, – «виртуальная недвижимость».

Основная часть

Виртуальная недвижимость активно продается и покупается в метавселенных. Данные MetaMetrics Solutions свидетельствуют о том, что общая продажа недвижимости в четырех ведущих метавселенных за 2021 г. составила более 501 млн дол. США. В январе 2022 г. произошел бурный рост продаж недвижимости метавселенной, объем продаж виртуальной недвижимости превысил 85 млн дол. США. Аналитики прогнозировали, что к концу 2022-го объем продаж недвижимости в метавселенных превысит 1 млрд дол. США³. Пока фактических отчетных данных за 2022 г. не обнародовано. Что же такое метавселенные и почему многие говорят об этом?

Метавселенная – это особая виртуальная реальность или виртуальное пространство, где люди взаимодействуют друг с другом и окружающим миром. Сейчас метавселенные привлекают в большей степени геймеров и поколение Z, так как именно эти категории проводят много времени в интернете. В 2022 г. отмечался рост интереса к метавселенным со стороны люксовых брендов. Тренд на повсеместную цифровизацию привел к проникновению цифровых технологий во все сферы жизни, во все индустрии, меняя при этом привычные отношения между субъектами. Метавселенная позволяет игрокам за счет использования технологий виртуальной и дополненной реальности чувствовать свое присутствие в игре, а не просто сидеть за экраном компьютера. Метавселенные используются как места проведения событий, например, потребитель, физически находясь в одной стране, может виртуально принимать участие в любом событии, организованном в метавселенной, чувствуя тем самым свою принадлежность к определенному комьюнити, что опять-таки способствует повышению его лояльности к тому или иному бренду. Так, метавселенная Decentraland в конце марта 2022 г. провела первую Metaverse Fashion Week, что привело к повышению интереса к индустрии. Вместе с тем использование метавселенных для организации там мероприятий дает возможность самовыражения, кастомизации, работы и общения на платформе, которая полностью управляется самим обществом, позволяя зарабатывать деньги (рис. 1).

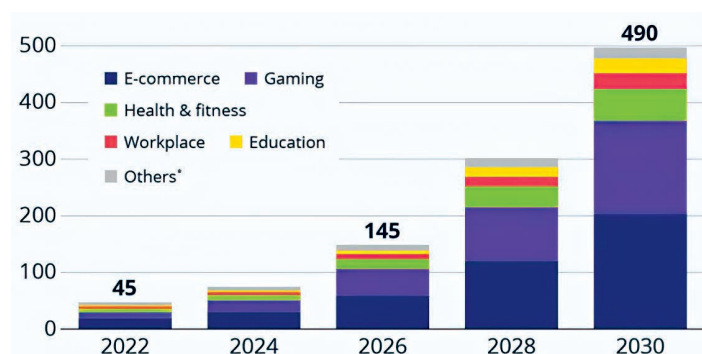


Рис. 1. Способы формирования дохода в метавселенных, млрд дол. США⁴
Fig. 1. Ways to generate income in metaverses, billion US dollars

Для понимания сущности метавселенных необходимо изначально разобраться в особенностях развития взаимодействия интернета и пользователей. Выделяются три этапа в развитии подобного взаимодействия (с 1990 годов до настоящего времени): 1) web 1.0; 2) web 2.0; 3) web 3.0. По сути, web 1.0/2.0/3.0 являются разными видами интернета [1]. В табл. 1 представлены основные их различия.

³ MetaMetric Solutions. <https://www.ceotodaymagazine.com/2022/02/metaverse-real-estate-sales-exceed-500-million-in-2021/>.

⁴ Metaverse. What is This and What Metaverse is Better in 2023? <https://ru-crypto.com/metaverse>.

Таблица 1. Различие видов интернета
Table 1. Differences types of internet

Критерий / Criteria	web 1.0	web 2.0	web 3.0
Взаимодействие	Чтение	Чтение – создание контента	Чтение – создание контента – владение
Среда	Статический текст	Интерактивный контент	Виртуальная экономика
Организация	Компании	Платформы	Сети
Инфраструктура	Персональные компьютеры	Облачные хранилища и мобильный интернет	Блокчейн-технологии
Финансовая составляющая	Прибыль формируется за счет просмотров страниц	Прибыль формируется за счет количества кликов	Прибыль формируется за счет вовлечения пользователей
Контроль	Децентрализованный	Централизованный	Децентрализованный

Доход от виртуальных миров в 2020 г. достиг 180 млрд дол. США. К 2025-му планируется рост дохода до 400 млрд дол. США, что обусловлено изменением подходов к монетизации со стороны разработчиков игр в результате коррекции поведения покупателей. Игроки отказываются от покупки премиальных версий игр, однако соглашаются тратить деньги на различные внутриигровые продукты, которые позволяют улучшить игровой процесс или изменить свой социальный статус в игре. Почему web 3.0 расширяет возможности вовлечения потребителей в виртуальный мир и может формировать собственную виртуальную экономику? Этому способствует ряд технических решений, использующихся в метавселенных:

1) платежные сети. Экономике метавселенных web 3.0 могут использовать свою собственную цифровую валюту: MANA для Decentraland или криптовалюту базовой платформы облачной экономики первого уровня, на которой они построены, как Ethereum (ETH) или Solana (SOL);

2) децентрализованные финансы (DeFi). Децентрализованные биржи позволяют пользователям торговать внутриигровыми предметами, а кредитные платформы – брать кредиты под залог своей виртуальной земли;

3) NFT. Участники могут приобретать NFT у других создателей и приносить их в другие виртуальные миры для демонстрации или продажи;

4) децентрализованное управление. Позволяет глобальной сети пользователей метавселенной web 3.0 самостоятельно определять правила своего коллективного виртуального пространства;

5) децентрализованное облако. Высокотехнологичные решения предоставляют мирам метавселенной web 3.0 децентрализованные инфраструктурные решения для хранения данных, а ряд сервисов предоставляют виртуальным мирам децентрализованную инфраструктуру транскодирования видео;

6) самостоятельная идентификация. Данные об интернет-репутации монет с других платформ могут передаваться в метавселенные и использоваться для идентификации или оценки кредитоспособности [1].

С начала развития web 3.0 общая стоимость, потраченная на продажи предметов в метавселенных (виртуальная земля, товары и услуги), превысила 200 млн дол. США. Криптовалютные виртуальные миры создали многомиллионный первичный и вторичный рынки для создателей и владельцев активов, устранив контроль над капиталом и открыв свои цифровые границы для свободного рыночного капитализма⁵.

Впервые термин «метавселенная (metaverse)» был употреблен в 1992 г. Нилом Стивенсоном в романе «Лавина». Н. Стивенсон создал метавселенную как некую черную сферу, в которой при получении предварительного разрешения можно строить территории: частные дома, клубы, офисы, ночные клубы, парки и проч. Участники метавселенной Н. Стивенсона физически воплощены в аватарах. Словарь Merriam-Webster определяет термин «метавселенная» как постоянную виртуальную среду, которая обеспечивает доступ и взаимодействие нескольких отдельных виртуальных реальностей.

⁵ The Metaverse Web 3.0 Virtual Cloud Economies. (2021). *Grayscale Research*. <https://grayscale.com/>.

Кэрри Мерфи, основатель и CEO компании The Fabricant, указывает, что «метавселенная – это всего лишь цифровой слой нашей жизни. Продолжение нашей физической жизни в цифровом царстве. Метавселенная будет существовать, когда все, что мы делаем в цифровом формате, будет полностью и органично связано». Александр Фернандез, основатель и CEO компании Streamline Media Group, говорит, что «метавселенная – это место, где ваша физическая личность и ваша цифровая личность становятся единой реальностью. То, что происходит в одном, влияет на другое, и наоборот. Это не фильм». Райан Мулитс, основатель и CEO компании Aglet, определяет метавселенную как новое измерение – виртуальное измерение, лежащее поверх физической реальности, рассматривает метавселенную как следующую фазу развития потребительского интернета [2].

Широкому пользователю термин «метавселенная» стал известен 28 октября 2021 г., когда Марк Цукерберг заявил о ребрендинге Facebook и смене названия на Meta (от слова *metaverse*). Он определил планы развития виртуальной реальности в рамках концепции метавселенной, основной миссией которой является объединение людей. М. Цукерберг заявил, что в рамках метавселенных будет создана модель трехмерного интернета. Пользователи будут не просто создавать и потреблять информацию, но находиться внутри нее.

В июле 2022 г. венчурный инвестор, один из исследователей метавселенных, Мэтью Боул опубликовал книгу «Метавселенная и как она произведет революции во всем», ставшую национальным и интернациональным бестселлером. М. Боул выделил следующие ключевые характеристики метавселенной:

1) это постоянная структура, которая не перезагружается, не приостанавливается, не заканчивается. Ее характеристикой является бесконечность;

2) это синхронная и живая структура, которая, несмотря на то, что существуют заранее запланированные и автономные события, будет наполняться жизненным опытом, который существует последовательно для всех пользователей и в режиме реального времени, что делает метавселенную продолжением реальной жизни;

3) это неограниченная структура для конкурирующих пользователей, что позволяет обеспечивать каждому пользователю индивидуальное ощущение присутствия, возможность быть частью общего, участвовать в определенном событии, месте, деятельности совместно и в это же время выступать отдельным агентом;

4) это полностью самостоятельно функционирующая экономика, в которой люди и организации могут создавать и владеть имуществом, инвестировать, продавать и получать вознаграждение за широкий спектр услуг и работ, которые могут производить ценность, признанную другими пользователями;

5) это возможность получить опыт, который охватывает цифровой и физический миры, частные и общедоступные сети, открытые и закрытые платформы;

6) это обеспечение беспрецедентной совместимости данных, цифровых предметов или активов, контента и т. д.;

7) это возможность использовать контент и опыт, созданный и управляемый широким кругом участников, некоторые из которых являются независимыми людьми, другие могут быть неформально организованными группами или коммерческими организациями [3].

Термин «метавселенная» не следует путать с такими понятиями, как «виртуальный мир», «виртуальное пространство», «виртуальная реальность», «цифровая и виртуальная экономика», «игра», «виртуальный тематический парк», «новый магазин приложений», «новая платформа пользовательского контента». Метавселенная не позиционируется как просто еще одна платформа, как YouTube или Facebook, где значительное количество пользователей создают, расшаривают и монетизируют контент. Такие платформы генерируют огромный объем контента, при этом самый популярный контент представляет собой лишь малую часть от общего. Метавселенная планируется как место, где инвестируется создание крупных компаний, способных полностью владеть клиентом, контролировать API и данные, формируя тем самым максимально кастомизированный контент. М. Боул отметил, что метавселенная фактически является преемником государства для мобильного интернета. Аналитики Bloomberg Intelligence оценивают метавселенные как следующие крупные технологические платформы, пока сфокусировавшиеся на привлечении производителей онлайн-игр, социальных сетей и других технологических лидеров, чтобы полу-

чить часть оборота рынка, составляющего почти 800 млрд дол. США. Социальные, постоянные, общие, виртуальные 3D-миры, метавселенные – это конвергенция физических и цифровых сфер в следующей эволюции интернета и социальных сетей с использованием программного обеспечения 3D в реальном времени [4].

Если метавселенная есть виртуальное продолжение реального мира, значит, именно экономическую составляющую можно рассматривать как основное объединяющее звено виртуального и реального миров, и логично, что компании рассматривают именно криптовалюты в качестве инструмента создания экономики будущего. Так как идея метавселенных ориентирована на общение и транзакции, которые зачастую проходят в игровой форме, поддержка этих взаимодействий осуществляется за счет виртуальной экономики, основанной на реальном мире. Это позволит найти новые способы получения прибыли с помощью виртуальных товаров, цифровых акций, взаимозаменяемых токенов и криптовалют. Плюсом метавселенных является то, что ни одна компания не должна владеть общей метавселенной, следовательно, не будет иметь возможности влиять на нее.

Для функционирования метавселенной требуется формирование соответствующей инфраструктуры, которой в настоящее время не существует, так как интернет не был предназначен для чего-то подобного. Поскольку он был разработан для обмена файлами с одного компьютера на другой, большинство базовых систем ориентированы на один сервер, который взаимодействует с другим сервером или устройством конечного пользователя. Например, по данным последнего квартального отчета на 31 марта 2023 г., ежедневными активными пользователями Facebook являлись 2,04 млрд людей⁶, но каждый пользователь сначала устанавливает индивидуальное соединение с сервером Facebook, а не с каким-либо другим пользователем напрямую. Соответственно, когда пользователь получает доступ к контенту другого пользователя, он получает самую свежую информацию, предоставляемую Facebook. Самой ранней формой псевдосинхронных программ являлись текстовые чаты, использование которых предполагает отправку статических данных на сервер и получение последней информации по мере необходимости. Для эффективной реализации идеи метавселенной необходима разработка инструментов, более похожих на видеоконференции и видеоигры. Эти возможности обеспечиваются постоянными соединениями, обновляющими друг друга в режиме реального времени и с точностью, которая обычно не нужна другим программам. Рынок метавселенных активно растет, что делает его привлекательным для инвесторов, одним из способов инвестирования для которых становится покупка виртуальной земли и недвижимости. Вполне возможно, что метавселенная выступит толчком для изменения реальной отрасли недвижимости.

В метавселенных формируются объекты цифровой (виртуальной) недвижимости. Инстинктивное человеческое желание иметь места проживания, владеть объектами на правах собственности делает землю ценной, а недвижимость превращает в наиболее популярный вид активов в мире, который теперь можно найти в цифровом пространстве. Кроме этого, все больше и больше людей проводят в виртуальном пространстве свое время. Последний отчет о трендах метавселенных, представленный Metaverse Insiders в декабре 2022 г., показал, что количество пользователей метавселенных увеличилось до 400 млн чел., и это только на начальной стадии развития⁷.

Виртуальная недвижимость – это нереальная недвижимость, которую невозможно потрогать, она существует только в виртуальном мире. Важной характеристикой такой недвижимости является стоимость – виртуальная недвижимость, как и реальная, имеет цену, может быть продана, куплена и передана в аренду. Виртуальная недвижимость имеет ценность, эта ценность растет во времени, что делает ее привлекательным объектом инвестиций. Покупка виртуальной недвижимости осуществляется за настоящие деньги. Как и реальная земля, виртуальная земля продается по частям и может быть куплена за валюту этой земли. Имеется возможность покупать и даже арендовать виртуальную землю в нескольких виртуальных мирах. Виртуальная недвижимость – это участки земли в виртуальном пространстве, на которых возможно строить объекты и участвовать в игре. Виртуальная недвижимость является пикселями. Цены на вир-

⁶ Meta Financials. Quarterly Earnings. 1 Q. 23 Y. <https://investor.fb.com/financials/default.aspx>.

⁷ Metaverse Trends: Expected Trends to Look Out for in 2023. <https://metaverseinsider.tech/2022/12/14/metaverse-trends/>.

туальную землю с 2019 г. выросли примерно на 879 %. Рост цифровых активов уже обеспечил многим ранним инвесторам заработок, сам сектор недвижимости продемонстрировал огромный потенциал. Согласно анализу McKinsey, ожидается, что к 2030 г. рынок недвижимости metaverse достигнет 5 трлн дол. США. Порог входа на рынок виртуальной недвижимости очень высокий (в наиболее популярных метавселенных он составляет 3–5 тыс. дол. США), что пока делает ее недоступной для широкого числа пользователей. Однако земельные участки в метавселенных продаются очень быстро, и будущие владельцы готовы платить тысячи долларов в качестве gas fees, чтобы получить виртуальные участки, прежде чем они попадут на вторичный рынок. Самыми известными метавселенными, где можно купить виртуальную недвижимость, являются Sandbox и Decentraland. В Decentraland в ноябре 2021 г. участок виртуальной земли был продан за 2,4 млн дол. США, в июне 2022-го участок земли там же продан более чем за 900 000 дол. США. В 2022 г. крупнейшей покупкой виртуальной земли в метавселенной Sandbox стала покупка компанией Republic Realm за 4,3 млн дол. США. Виртуальная земля стоимостью 2,8 млн дол. США была куплена Tokens.com в районе, который вскоре станет новым районом моды.

Всегда существует вероятность, что платформа прекратит существование, и вся виртуальная недвижимость на ней обесценится. Еще одна сложность заключается в том, что каждая платформа должна иметь свою собственную валюту или собственный токен [5]. То есть, чтобы купить недвижимость в метавселенной на этой платформе, сначала придется купить конкретный токен [6].

Поскольку все больше и больше людей проводят время в виртуальной среде, может возникнуть потребность в виртуальных пространствах для различных целей, таких как виртуальные офисы, виртуальные пространства для мероприятий или виртуальные витрины розничной торговли. Эти виртуальные пространства будут покупаться и продаваться так же, как физическая недвижимость, и позволят в будущем владельцам получать доходы от аренды.

Одним из факторов, который в 2023 г. стимулирует развитие виртуальной недвижимости в метавселенных, является рост числа цифровых проектов виртуальной недвижимости. Уже функционируют студии цифровой архитектуры, которые разрабатывают проекты объектов недвижимости в метавселенных. Студия цифровой архитектуры – Voxel Architects, где профессиональные архитекторы создают пользовательские 3D-здания и образы в метавселенной. В соответствии с портфолио Voxel Architects, компания уже спроектировала значительное число объектов недвижимости для метавселенных. Компания указывает, что если в ближайшие годы бизнес-проект не будет иметь стратегию в метавселенной, это эквивалентно отсутствию веб-сайта в настоящее время, так как именно метавселенная способна изменить взаимосвязи и взаимодействие между бизнесом и клиентом.

Voxel Architects разработала ряд проектов для самых известных метавселенных Sandbox и Decentraland. Для Decentraland на площади 160×160 м² было спроектировано и построено самое большое здание ConsenSys, которое считается одним из архитектурных чудес Decentraland. Форма здания вдохновлена логотипом бренда – спиралью, простирающейся как по горизонтали, так и по вертикали, на вершине которой находится парящая барная стойка со стеклянным полом, откуда можно увидеть строение полностью⁸. Особое место в портфолио Voxel Architects занимает Infinity Gallery. Форма здания повторяет знак бесконечности. Строение открытое, просторное, внешняя оболочка белая и покрыта светящимися звездами, которые можно увидеть ночью в Decentraland. Крупнейший в мире аукционный дом Sotheby's также перешел в метавселенную. Для этого было создано здание в масштабе 1:1, которое является детальной копией участка аукционного дома в Лондоне. Клиенты Voxel Architects, заказавшие проекты виртуальной недвижимости, – такие крупнейшие компании, как Sotheby's, Frida Kahlo, OliveX, Consensus и иные, для которых было создано более 40 цифровых объектов в 2022 г.

Процесс создания проекта объекта виртуальной недвижимости практически идентичен аналогичному процессу в реальности. Получение запроса на разработку проекта сопровождается предоставлением потребителю анкеты, в которой выясняются основные требуемые характеристики и параметры будущего виртуального объекта недвижимости. Эскизы и модификации проекта составляются после получения сметы заказчиком. Физические ограничения различных платформ

⁸ Voxel Architects. Portfolio. <https://storage.googleapis.com/voxelarchitects/portfolio/Portfolio-metaverse-voxelarchitects-2022.pdf>.

метавселенных, такие как размер цифрового участка, решаются разработчиком 3D-моделей после завершения архитектурного проекта. Перед окончательным запуском проекта разработчик проектирует и кодирует такие функции, как открывание дверей или работающие лифты. От момента разработки концепции и до запуска проекта проходит около месяца. По данным Voxel Architects, в 2021 г. компания получала 10 запросов на проектирование в неделю, в 2022-м количество заказов увеличилось до 30 в неделю. Проект виртуальной недвижимости стоит от 10 000 до 300 000 дол. США⁹.

Рост числа проектов виртуальной недвижимости стал именно тем фактором, который в 2023 г. поддержал дальнейшее развитие виртуальной недвижимости в метавселенных. Опыт студии цифровой архитектуры Voxel Architects и стоимость проектов, а также незамедлительная оплата счетов со стороны заказчиков привлекают гораздо больше дизайнеров и архитекторов, которые будут разрабатывать новые здания для метавселенных.

Аналитики указывают, что еще одним фактором развития рынка виртуальной недвижимости может стать возможность использования метавселенных для удаленного сотрудничества и общения. Благодаря возможности встречаться и взаимодействовать в виртуальном пространстве потребность в физических офисных помещениях и конференц-залах может значительно сократиться. В дальнейшем это может повлиять на корректировку спроса на коммерческую недвижимость, а также на изменение дизайна и использование коммерческих площадей. К дополнительным факторам, которые будут определять рост сделок с цифровой недвижимостью в ближайшее время, следует отнести: развитие NFT, формирование виртуального рынка, участие крупных игроков. Исследователи выдвигают следующие аргументы за создание виртуальной недвижимости: использование технологии блокчейн, что может позволить создавать уникальные виртуальные дома и участки, существующие в единственном экземпляре; наличие ограниченного количества эксклюзивных локаций даже в виртуальном мире.

Лидирующей платформой виртуальной реальности, где можно покупать, продавать и управлять виртуальными объектами недвижимости, является Decentraland. Виртуальная земля (недвижимость) здесь носит название LAND. Земля является невзаимозаменяемым, дефицитным цифровым активом, поддерживаемым в смарт-контракте, который представляет собой соглашение, хранящееся и исполняемое в блокчейне при выполнении заранее определенных условий (рис. 2). Стоимость участка виртуальной земли определяется его местоположением, т. е. расположением по отношению к другим виртуальным участкам, аналогично рынку физической недвижимости. В Decentraland близость к общественным местам, таким как Genesis Plaza, или к дорогам общего пользования является определяющим фактором стоимости. По мере увеличения пользовательского трафика на участок потенциальные возможности монетизации этого участка за счет продажи NFT, рекламы или других услуг также возрастают.



Рис. 2. Карта метавселенной Decentraland¹⁰
Fig. 2. Decentraland metaverse map

⁹ Voxel Architects – Metaverse Architecture. <https://www.voxelarchitects.com/>.

¹⁰ Decentraland. Metaverse Land Boom Fueling MANA Token Growth. <https://grayscale.com/wp-content/uploads/2021/12/Grayscale-Decentraland.pdf>.

Для инвестирования используется собственная валюта Decentraland – MANA. Decentraland базируется на использовании токена Ethereum для покупки виртуальных участков земли. Собственники земли получают полный контроль над участком – могут использовать участок по своему усмотрению и брать плату с других пользователей за его посещение. Decentraland, в соответствии с White Paper, создавался для реализации концепции распределения прав собственности на цифровую недвижимость между пользователями в блокчейне. Эта цифровая недвижимость изначально была реализована в виде пикселя на бесконечной двумерной сетке, где каждый пиксель содержал метаданные, идентифицирующие владельца и описывающие цвет пикселя. Эксперимент назывался «Каменный век Децентраленда»¹¹. Команда начала работать над метавселенной в декабре 2015 г. с целью предоставления инфраструктуры для поддержки общего виртуального мира. В конце 2016-го команда приступила к разработке Bronze Age – виртуального 3D-мира, разделенного на земельные участки. Decentraland не контролируется централизованной организацией.

В Decentraland есть 16×16 квадратных метров земли. Количество участков ограничено, что позволяет сделать их более дефицитными и соответственно сохранить рынок от перегрева. Осуществить покупку или аренду земли в Decentraland можно через специальную торговую площадку для NFY OpenSea или через торговую площадку внутри Decentraland. Всего в метавселенной 90 601 участок земли. 50 % из них составляют так называемые частные земли, владельцами которых являются люди и корпорации, остальные идентифицированы как районы, дороги или площади, предназначенные для общественного использования, например, концертные площадки, общественные городские площади и исследовательские районы. В табл. 2 представлено процентное распределение участков в зависимости от их типа.

Таблица 2. Структура виртуальной земли Decentraland в зависимости от типа участка¹²
Table 2. Structure of Decentraland virtual land depending on the type of plot

Тип виртуального участка / Type of virtual plot	Количество участков конкретного типа / Amount of plots particular types	Доля участков конкретного типа в общей совокупности, % / Share of plots of a particular type in the total population, %
Частная земля	43 689	48
Районная земля	33 886	37
Дороги	9438	10
Площади	3588	4
Всего земельных участков	90 601	100

Сравнивая рыночную капитализацию токена MANA с рыночной капитализацией недвижимости Decentraland, можно отметить, что токен MANA не только превзошел землю, но и захватил большую часть рыночной стоимости цифровой экономики, хотя оба они продемонстрировали сильный рост. Рыночная капитализация MANA на конец 2021 г. составляла приблизительно 11,4 млрд дол. США, общая стоимость LAND (частная, районная, дорога и площадь) оценивалась в 1,8 млрд дол. США, только частная LAND – в 0,9 млрд дол. США.

За 2021 г. токен Decentraland (MANA) и недвижимость (LAND) выросли в цене, причиной чего, как отмечалось выше, является повышение интереса пользователей к виртуальным мирам как к экономическим центрам. Стоимость отдельного участка земли варьируется, но за счет анализа изменения средней недельной цены продажи NFT Decentraland (в основном земли, но включает другие NFT, такие как носимые устройства) можно оценить, как стоимость недвижимости изменилась с течением времени по сравнению с токеном MANA (рис. 3).

¹¹ Decentraland. *A Blockchain-Based Virtual World. White Paper.* <https://decentraland.org/whitepaper.pdf>.

¹² Decentraland. *Metaverse Land Boom Fueling MANA Token Growth.* <https://grayscale.com/wp-content/uploads/2021/12/Grayscale-Decentraland.pdf>.

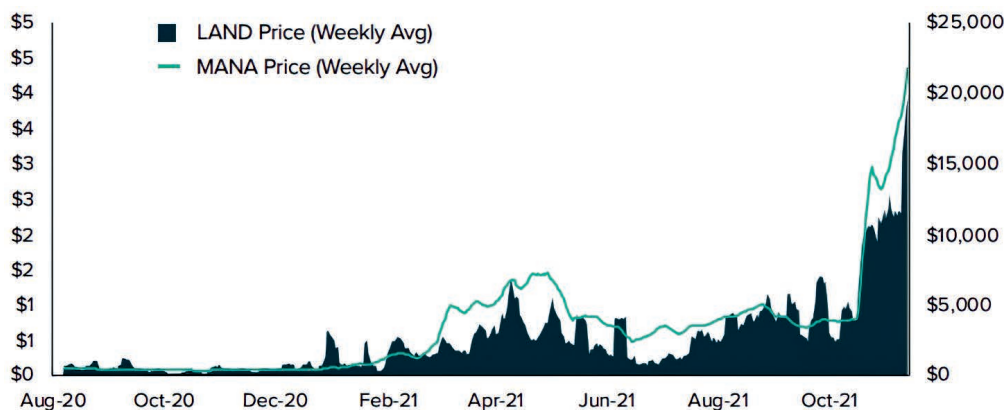


Рис. 3. Средненедельное изменение стоимости токенов MANA и LAND в метавселенной Decentraland¹³
Fig. 3. Average weekly change in the value of MANA and LAND tokens in the Decentraland metaverse

Как видно из рис. 3, оба актива Decentraland показали хороший рост и фактически схожий тренд за исследуемый период, MANA немного опередила LAND. Средненедельная цена этих двух активов увеличилась на 4947 и 4173 % соответственно (рис. 4).

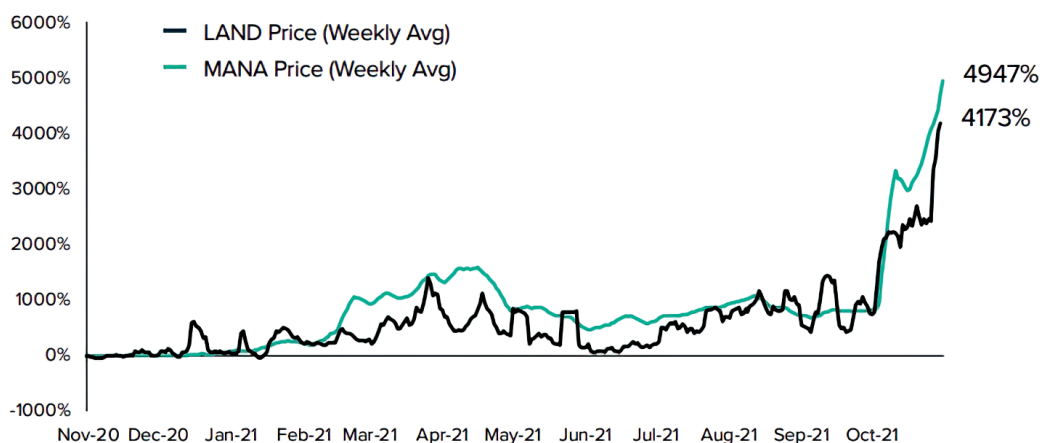


Рис. 4. Изменение средненедельных цен LAND и MANA¹⁴
Fig. 4. Changes in average weekly prices for LAND and MANA

Алгоритм покупки виртуальной земли в Decentraland следующий:

- 1) необходимо пройти регистрацию в системе;
- 2) выбрать участок земли, который подходит. Покупатель может видеть всю предлагаемую землю и подобрать подходящий вариант;
- 3) привязать свой кошелек к системе, чтобы иметь возможность оплатить участок. Если сделка будет успешно завершена, участок земли в виде NFT будет прислан на кошелек.

Несмотря на значительный рост, демонстрируемый рынком виртуальной недвижимости, он занимает несущественную долю всего рынка недвижимости, который остается крупнейшим классом активов в мире. Но движение общества в сторону виртуального пространства может в будущем дематериализовать часть рынка недвижимости, фиксируя сдвиг ценности от физического к цифровому миру по мере корректировки внимания пользователей и социальных норм. В то время как стоимость виртуальной недвижимости и земли в метавселенной Decentraland увеличилась, у стоимости цифровой недвижимости в экономике есть огромный потенциал роста по сравнению с реальным физическим рынком. Сможет ли рынок виртуальной недвижимости достичь таких размеров, покажет будущее.

¹³ Decentraland. Metaverse Land Boom Fueling MANA Token Growth. <https://grayscale.com/wp-content/uploads/2021/12/Grayscale-Decentraland.pdf>.

¹⁴ Decentraland. Metaverse Land Boom Fueling MANA Token Growth. <https://grayscale.com/wp-content/uploads/2021/12/Grayscale-Decentraland.pdf>.

Заключение

1. Переход интернета в стадию web 3.0 и соответствующие инновационные технологии ускорят проникновение виртуальных миров в жизнь человека. Интернет повлиял на действия, общение, развлечения, обучение, что способствовало становлению технологического сектора как крупнейшего. Интернет меняет и экономику, влияет на возможности пользователей создавать и владеть ценностью, что стало возможным с момента запуска в 2009 г. биткойна.

2. В 2023 г. у пользователей появилась возможность владеть собственными цифровыми пространствами в виде виртуальной недвижимости, использование которой может принести доход. Виртуальные миры метавселенных web 3.0 создают реальную ценность для разработчиков, сторонних создателей и пользователей, участвующих в развитии рыночных крипто-облачных экономик.

3. web 3.0 обеспечивает создание экономики метавселенных за счет использования таких технических решений, как платежные сети, децентрализованные финансы (DeFi), NFT, децентрализованное управление, децентрализованное облако и самостоятельная идентификация. Скорее всего, метавселенная станет следующим этапом цифровой трансформации экономики после «Индустрии 4.0».

4. Текущий тренд развития интернета предполагает слияние игровой и социальной жизни, что формирует огромную, быстрорастущую экономику потребления виртуальных товаров. Метавселенные не являются отдельными от реального мира, это цифровое продолжение мира, дополнительный слой. Метавселенная – гибрид виртуального и физического миров, создающий абсолютно новое пространство для общения, жизни и бизнеса.

5. Венчурные инвесторы и зарубежные аналитики оценивают виртуальную землю и недвижимость как хорошую инвестицию для крипто-подкованных спекулянтов. Наличие собственного участка земли и недвижимости позволяет организовывать в метавселенной частные мероприятия и дополнительно зарабатывать на получении платы с участников.

6. Рынок метавселенных растет: так, количество активных пользователей в 2022 г. составило 400 млн человек. Функционирование метавселенных предполагает создание определенной инфраструктуры, частью которой выступает виртуальная недвижимость.

7. Виртуальная недвижимость – это недвижимость, которую невозможно потрогать в реальном мире, она существует только в виртуальном мире, однако имеет реальную стоимость. Привлекательность виртуальной недвижимости как объекта инвестиций подтверждает тот факт, что в 2021 г. в четырех ведущих метавселенных было продано виртуальной недвижимости на сумму более 501 млн дол. США.

8. Стоимость виртуальной недвижимости формируется за счет взаимодействия и обмена между пользователями в различных сферах деятельности, включая художественные галереи, офисы, игры и казино, рекламу, спонсируемый контент и музыкальные площадки. Объекты виртуальной недвижимости проектируются специализированными архитектурными компаниями. Стоимость участка под виртуальный объект определяется его местоположением.

9. Разработка проекта виртуальной недвижимости практически совпадает с разработкой реального объекта недвижимости. Отличием проектной фирмы виртуальной недвижимости и обычной является то, что в обычной компании над проектом работают архитекторы, строители и инженеры, в виртуальном проекте вместо инженера участие принимает программист. Оценка экономической эффективности и успешности реализации концепции виртуальной недвижимости на текущем этапе является сложной. Однако, как доказал опыт криптовалют, изменения могут произойти быстро и кардинально повлиять на рынок реальной недвижимости.

10. Негативным моментом в области развития виртуальной недвижимости является возможность создания бесконечного количества квадратных метров недвижимости, что в конечном итоге может привести к перегреву и краху виртуального рынка. Дальнейшее развитие рынка виртуальной недвижимости будет зависеть от деловой активности потребителей в виртуальном мире.

Список литературы / References

1. Marr B. (2023) *The Future Internet: How the Metaverse, Web 3.0, and Blockchain Will Transform Business and Society*. New Jersey, Wiley Publ.

2. Safian-Demers E. (2022) A Primer on the Metaverse and Key Terms to Know. *Wunderman Thompson*. Available: <https://www.wundermanthompson.com/insight/the-metaverse-glossary> (Accessed 2 October 2023).
3. Bowl M. (2020) The Metaverse: What it is, Where to Find it, and Who Will Build it. *MatthewLBowl*. Available: <https://www.matthewball.vc/all/themetaverse> (Accessed 16 September 2023).
4. Kanterman M. N. (2021) Metaverse May be \$800 Billion Market, Next Tech Platform. Insights. *Bloomberg Professional Services*. Available: <https://www.bloomberg.com/professional/blog/metaverse-may-be-800-billion-market-next-tech-platform/> (Accessed 29 September 2023).
5. Treivas P. (2023) Real Estate in Metaverse: Reality or Bubble. *RBK*. Available: <https://reality.rbc.ru/news/6208cce29a79471047e31af6> (Accessed 15 September 2023).
6. Ejeke P. (2020) Virtual Real Estate Investing. *Large Print: The Fundamentals of Buying & Selling Domain Names. How to Quit Your Job & Make Fast Cash Wholesaling Domain Names*. Independent Publ.

Вклад авторов / Authors' contribution

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

Сведения об авторах

Чигрина А. И., канд. экон. наук, доц., зав. каф. международного бизнеса и маркетинга, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы

Панков Д. И., д-р экон. наук, проф., зав. каф. бухгалтерского учета, анализа и аудита в отраслях народного хозяйства, Белорусский государственный экономический университет

Адрес для корреспонденции

230029, Республика Беларусь,
г. Гродно, ул. Мицкевича, 11
Гродненский государственный
университет имени Янки Купалы
Тел.: +375 29 654-70-09
E-mail: n_chigrina@mail.ru
Чигрина Анастасия Игоревна

Information about the authors

Chyhryna N. I., Cand. of Sci., Associate Professor, Head of the Department of International Business and Marketing, Yanka Kupala State University of Grodno

Pankov D. I., Dr. of Sci. (Econ.), Professor, Head of the Department of Accounting, Analysis and Audit in Sectors of the National Economy, Belarus State Economic University

Address for correspondence

230029, Republic of Belarus,
Grodno, Mickevicha St., 11
Yanka Kupala State University
of Grodno
Tel.: +375 29 654-70-09
E-mail: n_chigrina@mail.ru
Chyhryna Nastassia Igorevna



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-1-40-51>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 004.8

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ И СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ЦЕЛИ РАБОТ ПО СОЗДАНИЮ ТЕОРИИ И ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

В. В. ГОЛЕНКОВ, Н. А. ГУЛЯКИНА, Д. В. ШУНКЕВИЧ

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

Поступила в редакцию 22.12.2023

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

Аннотация. Рассмотрены основные методологические проблемы и стратегические цели работ по созданию теории и технологии интеллектуальных компьютерных систем нового поколения. Исследованы проблемы современного состояния работ в области искусственного интеллекта и их причины, обоснована необходимость перехода к интеллектуальным компьютерным системам нового поколения. Приведены основные принципы, лежащие в основе таких систем, а также соответствующей им комплексной технологии. Обоснован переход от локальной автоматизации при решении частных задач к комплексной автоматизации различных областей человеческой деятельности. Предложена концепция экосистемы интероперабельных интеллектуальных компьютерных систем, являющаяся основой для комплексной автоматизации. Рассмотрены архитектура экосистемы, направления ее эволюции, классы систем, входящих в экосистему.

Ключевые слова: технология, искусственный интеллект, онтология, интеллектуальная система, обучаемость, интероперабельность, гибридность, технология OSTIS.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Голенков, В. В. Методологические проблемы и стратегические цели работ по созданию теории и технологии интеллектуальных компьютерных систем нового поколения / В. В. Голенков, Н. А. Гулякина, Д. В. Шункевич // Цифровая трансформация. 2024. Т. 30, № 1. С. 40–51. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-1-40-51>.

METHODOLOGICAL PROBLEMS AND STRATEGIC GOALS OF THE WORK ON CREATION OF THE THEORY AND TECHNOLOGY OF NEW GENERATION INTELLIGENT COMPUTER SYSTEMS

VLADIMIR V. GOLENKOV, NATALIA A. GULIAKINA, DANIIL V. SHUNKEVICH

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

Submitted 22.12.2023

Abstract. The main methodological problems and strategic goals of work on creating the theory and technology of intelligent computer systems of a new generation are considered. The problems of the current state of work in the field of artificial intelligence and their causes are studied, and the need for a transition to a new generation of intelligent computer systems is substantiated. The basic principles underlying such systems, as well as the corresponding complex technology, are presented. The transition from local automation when solving particular problems to complex automation of various areas of human activity is justified. The concept of an ecosystem of interoperable

intelligent computer systems is proposed, which is the basis for complex automation. The architecture of the ecosystem, the directions of its evolution, and the classes of systems included in the ecosystem are considered.

Keywords: technology, artificial intelligence, ontology, intelligent system, learnability, interoperability, hybridization, OSTIS technology.

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

For citation. Golenkov V. V., Guliakina N. A., Shunkevich D. V. (2024) Methodological Problems and Strategic Goals of the Work on Creation of the Theory and Technology of New Generation Intelligent Computer Systems. *Digital Transformation*. 30 (1), 40–51. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-1-40-51> (in Russian).

Введение

Основной целью исследований авторов являлся ответ на вопросы: почему следующий этап информатизации требует создания интеллектуальных компьютерных систем нового поколения и соответствующего им технологического комплекса; в чем заключается принципиальное отличие современных интеллектуальных компьютерных систем от интеллектуальных компьютерных систем следующего (нового) поколения; в чем заключается принципиальное отличие современных технологий искусственного интеллекта от комплекса технологий, соответствующих интеллектуальным компьютерным системам нового поколения; почему необходим комплексный межотраслевой подход к информатизации различных видов и областей человеческой деятельности?

Если кратко охарактеризовать текущее состояние работ в области искусственного интеллекта, то это иллюзия благополучия. Происходит активное локальное развитие самых различных направлений искусственного интеллекта (неклассические логики, формальные онтологии, искусственные нейронные сети, машинное обучение, мягкие вычисления, многоагентные системы и др.), но комплексного повышения уровня интеллекта современных интеллектуальных компьютерных систем нет. Для этого требуются сближение и интеграция всех направлений искусственного интеллекта и соответствующее построение общей формальной теории интеллектуальных компьютерных систем, а также превращение современного многообразия инструментальных средств (frameworks) разработки различных компонентов интеллектуальных компьютерных систем в единую технологию комплексного проектирования и поддержки жизненного цикла интеллектуальных компьютерных систем, гарантирующую совместимость всех разрабатываемых компонентов интеллектуальных компьютерных систем, а также совместимость этих систем как самостоятельных субъектов (агентов, акторов), взаимодействующих между собой в рамках комплексных систем автоматизации сложных видов коллективной человеческой деятельности (умных домов, умных больниц, умных школ, умных производственных предприятий, умных городов и т. д.).

Методологические проблемы текущего состояния работ в области искусственного интеллекта

- Отсутствует общая формальная теория интеллектуальных компьютерных систем (отсутствует конвергенция (сближение) и интеграция различных направлений искусственного интеллекта).
- Отсутствуют унификация и стандартизация интероперабельных интеллектуальных компьютерных систем.
- Отсутствует комплексная технология проектирования, производства и модернизации интеллектуальных компьютерных систем.
- Отсутствует кадровый потенциал, необходимый для создания общей теории интеллектуальных компьютерных систем и комплексной технологии их проектирования, производства и модернизации.
- У современных специалистов в области искусственного интеллекта отсутствует необходимый уровень интероперабельности и мотивации к конвергенции и интеграции различных направлений искусственного интеллекта.

Ключевая причина современных проблем в области искусственного интеллекта

Ключевой причиной методологических проблем современного состояния искусственного интеллекта и серьезным вызовом для специалистов в этой области является информационный кризис текущего (современного) этапа эволюции человеческого общества, обусловленный многообразием языков и форм, используемых для представления знаний и, в частности, навыков, накапливаемых обществом. Такое многообразие существенно затрудняет интеграцию, конвергенцию, систематизацию, стратификацию и, как следствие, компьютерную (автоматическую) обработку этих знаний, которое преследует нас на уровнях:

- внутренней организации решения задач в интеллектуальной компьютерной системе;
- взаимодействия интеллектуальных компьютерных систем как между собой, так и с пользователями;
- взаимодействия ученых, работающих в области искусственного интеллекта, что препятствует созданию общей формальной теории интеллектуальных компьютерных систем, а также технологии комплексного проектирования и поддержки всего жизненного цикла интеллектуальных компьютерных систем;
- взаимодействия между учеными, инженерами, разрабатывающими прикладные интеллектуальные компьютерные системы, преподавателями вузов, которые готовят специалистов в области искусственного интеллекта, а также студентами, магистрантами и аспирантами.

Направления решения современных проблем в области искусственного интеллекта

Для решения указанных методологических проблем предлагаются следующие направления.

- Переход к созданию совместимых интеллектуальных компьютерных систем нового поколения, ориентированных на индивидуальное и коллективное (совместное) решение комплексных задач, требующих использования различных моделей и методов в непредсказуемых комбинациях, что нужно для существенного расширения сфер применения интеллектуальных компьютерных систем, для перехода от автоматизации локальных видов и областей человеческой деятельности к комплексной автоматизации более крупных (объединенных) видов и областей этой деятельности.
- Разработка общей формальной теории интеллектуальных компьютерных систем нового поколения.
- Разработка технологии комплексной поддержки жизненного цикла интеллектуальных компьютерных систем нового поколения, которая включает в себя поддержку проектирования этих систем (как начального этапа их жизненного цикла) и обеспечение их совместимости на всех этапах жизненного цикла.
- Конвергенция и унификация интеллектуальных компьютерных систем нового поколения и их компонентов.
- Реализация бесшовной, диффузной, взаимопроникающей глубокой интеграции семантически смежных компонентов интеллектуальных компьютерных систем, т. е. интеграция, при которой отсутствуют четкие границы (швы) интегрируемых (соединяемых) компонентов, которая может осуществляться автоматически.
- Соблюдение принципа бритвы Оккама – максимально возможное структурное упрощение интеллектуальных компьютерных систем нового поколения, исключение эклектичных решений.
- Ориентация на потенциально универсальные (т. е. способные быстро приобретать любые знания и навыки), синергетические интеллектуальные компьютерные системы с сильным интеллектом.

Ключевой фактор решения современных проблем в области искусственного интеллекта

Следует особо подчеркнуть, что ключевым фактором решения рассматриваемых методологических проблем в области искусственного интеллекта являются различные направления конвергенции и интеграции, обеспечивающие переход к интеллектуальным компьютерным системам нового поколения и соответствующей технологии комплексной поддержки их жизненного цикла. Для решения этих задач необходимы конвергенция и интеграция:

- различных моделей представления и обработки информации в интеллектуальных компьютерных системах нового поколения;
- разных видов знаний в базах знаний интеллектуальных компьютерных систем нового поколения;
- всевозможных моделей решения задач;
- разных видов интерфейсов интеллектуальных компьютерных систем нового поколения;
- различных направлений искусственного интеллекта в целях построения общей формальной теории интеллектуальных компьютерных систем нового поколения;
- технологий проектирования различных компонентов интеллектуальных компьютерных систем нового поколения в целях построения комплексной технологии их проектирования;
- технологий поддержки различных этапов жизненного цикла интеллектуальных компьютерных систем нового поколения в целях построения технологии комплексной поддержки всех этапов их жизненного цикла;
- различных видов человеческой деятельности в области искусственного интеллекта (научно-исследовательской деятельности, развития технологического комплекса, прикладной инженерии, образовательной деятельности) для повышения уровня согласованности и координации этих видов деятельности, а также для повышения уровня их комплексной автоматизации с помощью семантически совместимых интеллектуальных компьютерных систем нового поколения;
- самых разных видов и областей человеческой деятельности, средств комплексной автоматизации этой деятельности с помощью интеллектуальных компьютерных систем нового поколения.

Требования, предъявляемые к интеллектуальным компьютерным системам нового поколения

К интеллектуальным компьютерным системам нового поколения должны предъявляться высокие требования уровня:

- обучаемости;
- гибридности;
- решения интеллектуальных задач (т. е. задач, методы решения которых и/или требуемая для их решения исходная информация априори неизвестны);
- интероперабельности;
- синергии.

Высокий уровень обучаемости обеспечивается:

- гибкостью информации, хранимой в памяти интеллектуальной системы;
- качеством стратификации информации, хранимой в памяти интеллектуальной системы (стратифицированностью базы знаний);
- рефлексивностью интеллектуальной системы;
- способностью исправлять свои ошибки (в том числе устранять противоречия в своей базе знаний);
- познавательной активностью;
- отсутствием ограничений на вид приобретаемых знаний и навыков (отсутствие таких ограничений означает потенциальную универсальность интеллектуальной системы).

Под гибридностью следует понимать степень многообразия используемых видов знаний и моделей решения задач и уровень эффективности их совместного использования, а также индивидуальную способность решать комплексные задачи, требующие применения различных видов знаний и комбинаций разных моделей их решения. Надлежащий уровень гибридности обеспечивается:

- высокой степенью многообразия используемых видов знаний и моделей решения задач;
- высокой степенью конвергенции и глубокой интеграцией (степенью взаимопроникновения) различных видов знаний и моделей решения задач;
- способностью неограниченно расширять уровень своей гибридности.

Под интероперабельностью понимается:

- способность к эффективному (целенаправленному) взаимодействию с другими самостоятельными субъектами;

- способность к партнерскому взаимодействию в решении комплексных задач, требующих коллективной деятельности;
- способность работать в коллективе (в команде);
- уровень социализации;
- social skills.

Интероперабельность обеспечивается:

• взаимопониманием, которое, в свою очередь, обеспечивается высоким уровнем семантической совместимости заданного субъекта с другими субъектами заданного коллектива, способностью понятно и обоснованно формулировать свои предложения и информацию, полезную для решения текущих задач, и способностью к повышению уровня семантической совместимости со своими партнерами;

• договороспособностью, т. е. способностью согласовывать с партнерами свои планы и намерения в целях своевременного обеспечения высокого качества коллективного результата;

• способностью к децентрализованной координации своих действий с действиями партнеров в непредсказуемых (нештатных) обстоятельствах;

• способностью к минимизации негативных последствий конфликтных ситуаций с другими субъектами, которая, в свою очередь, обеспечивается высоким уровнем способности к предотвращению возникновения конфликтных ситуаций и соблюдением этических норм и правил, препятствующих возникновению разрушительных последствий конфликтных ситуаций.

Семантическая совместимость – это степень согласованности (совпадения) систем понятий и других ключевых сущностей, используемых заданными взаимодействующими субъектами. Параметр семантической совместимости чаще всего задается для пар взаимодействующих субъектов.

Подчеркнем, что гибридность и интероперабельность интеллектуальных компьютерных систем нового поколения предполагают отказ от известной парадигмы черных ящиков, поскольку:

• все многообразие моделей решения задач гибридной интеллектуальной компьютерной системы должно интерпретироваться на одной общей универсальной платформе;

• доступность информации о том, как устроены каждый используемый метод и модель решения задач, каждый субъект, существенно повышает качество их координации при совместном решении комплексных задач;

• появляется возможность некоторые методы, модели решения задач и целые субъекты (например, интеллектуальные компьютерные системы) использовать для совершенствования (повышения качества) других методов, моделей и субъектов.

Следует подчеркнуть, что все перечисленные требования, предъявляемые к интеллектуальным компьютерным системам нового поколения и определяющие их способность к индивидуальному и коллективному решению комплексных системных задач, должны предъявляться и к людям, поскольку сложные виды и области человеческой деятельности являются коллективными и творческими. Особенно это касается интероперабельности. Так, творческий коллектив, состоящий из неинтероперабельных специалистов, не способен создавать интероперабельные интеллектуальные компьютерные системы и тем более соответствующую им технологию.

Принципы, лежащие в основе интеллектуальных компьютерных систем нового поколения

В основу интеллектуальных компьютерных систем нового поколения положены следующие принципы:

– смысловое представление знаний в памяти интеллектуальных компьютерных систем;

– использование общего для всех интеллектуальных компьютерных систем универсального языка смыслового представления знаний в виде рафинированных семантических сетей;

– структурно-перестраиваемая (графодинамическая) организация памяти интеллектуальных компьютерных систем, при которой обработка знаний сводится не столько к изменению состояния хранимых знаков, сколько к изменению конфигурации связей между этими знаками;

– семантически неограниченный ассоциативный доступ к информации, хранимой в памяти интеллектуальных компьютерных систем, по заданному образцу произвольного размера и произвольной конфигурации;

– ситуационное децентрализованное управление информационными процессами в памяти интеллектуальных компьютерных систем, реализованное с помощью агентно-ориентированной

модели обработки знаний, в котором инициирование новых информационных процессов осуществляется не путем передачи управления соответствующим априори известным процедурам, а в результате возникновения соответствующих ситуаций или событий в памяти интеллектуальной компьютерной системы, поскольку основная проблема компьютерных систем состоит не в накоплении знаний, в умении активизировать нужные знания в процессе решения задач;

– переход к семантическим моделям решения задач, в основе которых лежит учет не только синтаксических (структурных) аспектов обрабатываемой информации, но также и ее семантических (смысловых) аспектов – From Data Science to Knowledge Science;

– онтологическая стратификация баз знаний интеллектуальных компьютерных систем в виде иерархической системы предметных областей и соответствующих им онтологий;

– четкая спецификация синтаксиса и семантики всего многообразия языков взаимодействия пользователей с интеллектуальными компьютерными системами, включая языковые средства управления пользовательским интерфейсом, введение в состав интеллектуальной компьютерной системы соответствующих help-подсистем, обеспечивающих существенное снижение языкового барьера между пользователями и интеллектуальными компьютерными системами, что повысит эффективность эксплуатации интеллектуальных компьютерных систем;

– минимизация негативного влияния человеческого фактора на эффективность эксплуатации интеллектуальных компьютерных систем благодаря реализации интероперабельного (партнерского) стиля взаимодействия не только между самими интеллектуальными компьютерными системами, но также между интеллектуальными компьютерными системами и их пользователями. Ответственность за качество совместной деятельности должна быть распределена между всеми партнерами.

В настоящее время пользовательские интерфейсы компьютерных систем (в том числе интеллектуальных) для широкого контингента пользователей не являются семантически (содержательно) дружественными (комфортными). Организация взаимодействия пользователей с компьютерными системами (в том числе с интеллектуальными) – узкое место, оказывающее существенное влияние на эффективность автоматизации человеческой деятельности. В основе современной организации взаимодействия пользователя с компьютерной системой лежит парадигма грамотного пользователя, который знает, чего он хочет от используемого им инструмента, и несет полную ответственность за качество взаимодействия с ним. На современном этапе развития искусственного интеллекта для повышения эффективности взаимодействия необходим переход от парадигмы грамотного управления используемым инструментом к парадигме равноправного сотрудничества, к партнерскому взаимодействию интеллектуальной компьютерной системы со своим пользователем. Семантическая дружественность пользовательского интерфейса должна заключаться в адаптивности к особенностям и квалификации пользователя, исключении любых проблем для пользователя в процессе диалога с интеллектуальной компьютерной системой, в перманентной заботе о совершенствовании коммуникационных навыков пользователя.

Главный продукт деятельности в области искусственного интеллекта

Практическим результатом решения рассматриваемых методологических проблем в области искусственного интеллекта является поэтапное создание глобальной сети эффективно взаимодействующих интеллектуальных компьютерных систем нового поколения, обеспечивающих комплексную автоматизацию всевозможных видов и областей человеческой деятельности, что, в частности, предполагает реорганизацию и комплексную автоматизацию человеческой деятельности в области искусственного интеллекта с помощью интеллектуальных компьютерных систем нового поколения.

Деятельность в области искусственного интеллекта:

главная стратегическая цель (главный продукт): комплексная автоматизация всех видов и областей человеческой деятельности на основе массового использования интеллектуальных компьютерных систем (глобальная сеть (экосистема), состоящая из семантически совместимых интероперабельных интеллектуальных компьютерных систем, самостоятельно и осмысленно взаимодействующих как между собой, так и с людьми);

подцели:

– стратегическая научно-техническая программа комплексной автоматизации всех видов и областей человеческой деятельности на основе массового использования интероперабельных интеллектуальных компьютерных систем;

– формализация и конвергенция различных видов и областей человеческой деятельности.

Указанный подход к комплексной автоматизации человеческой деятельности означает переход на принципиально новые технологический уклад и уровень развития используемых человеком технологий.

Анализ текущего состояния автоматизации человеческой деятельности

Комплекс средств автоматизации человеческой деятельности:

проблема текущего состояния: доминирует независимая локальная автоматизация различных видов и областей человеческой деятельности, т. е. отсутствует комплексный (интегральный) подход к автоматизации человеческой деятельности в целом;

подпроблемы:

– каждый человек или коллектив должен вручную декомпозировать решаемые им комплексные задачи, требующие использования различных локальных средств автоматизации, вручную осуществлять взаимодействие этих средств при решении этих задач;

– каждый человек или коллектив должен знать, какие потенциально полезные ему средства автоматизации существуют в текущий момент и как с ними вручную взаимодействовать с помощью соответствующих пользовательских интерфейсов (т. е. знать язык общения с этими средствами и их возможности);

– отсутствует унификация пользовательских интерфейсов для различных локальных средств автоматизации (даже для функционально эквивалентных средств), т. е. с различными, даже эквивалентными, средствами автоматизации необходимо общаться на разных языках.

Следствием того, что организация управления различными локальными средствами автоматизации носит эклектичный характер (разные средства управляются по-разному), являются большие затраты на формирование у пользователей навыков управления различными средствами автоматизации и недостаточно полное использование всех возможностей применяемых средств. Современный этап информатизации и цифровой трансформации человеческой деятельности и соответствующие требования к компьютерной грамотности пользователей носят фактически издательский характер, особенно для неподготовленных пользователей. Пользователя заставляют знать не только смысл своей задачи, но и то, как эта задача решается с помощью компьютерных систем. Причем в разных аналогичных компьютерных системах это делается по-разному.

С расширением многообразия различных локальных средств автоматизации человеческой деятельности существенно возрастают накладные расходы каждого человека и коллектива на организацию взаимодействия с этими средствами автоматизации и, соответственно, существенно сокращается доля времени, которую каждый человек или коллектив может потратить на принципиально неавтоматизируемую (в первую очередь творческую, созидательную) деятельность. В настоящее время при расширении и многообразии средств автоматизации локальных видов и областей человеческой деятельности человек незаметно для себя становится придатком этих средств, уровень квалификации которого определяется не уровнем понимания смысла выполняемой деятельности, а умением управлять соответствующими средствами автоматизации, т. е. умением грамотно нажимать на соответствующие клавиши, кнопки, рычаги.

Если провести аналогию современного характера использования средств автоматизации человеческой деятельности с деятельностью в области музыкального творчества, можно сказать, что на современном уровне использования средств автоматизации доминируют не творцы, не композиторы, а исполнители, которые не способны внести собственный вклад в исполняемое произведение, вклад, раскрывающий замысел композитора, и которые тем более не способны на уместную и гармоничную импровизацию. Очевидно, что такое положение дел существенно снижает темпы технологического прогресса и прогресса во всех автоматизируемых областях человеческой деятельности. Поскольку на современном этапе развития средств автоматизации человеческой деятельности доминирующий характер имеет информационная (умственная) деятельность (в том числе по управлению (использованию) различными средствами автоматизации физической деятельности), создаются хорошие предпосылки для унификации принципов организации управления этими средствами.

Актуальность перехода от локальной к комплексной автоматизации человеческой деятельности

Прежде чем приступить к рассмотрению актуальности перехода от локальной к комплексной автоматизации человеческой деятельности, подчеркнем, что принципиальная возможность реализации такого перехода возникла сравнительно недавно. Это связано с тем, что указанный переход на новый уровень автоматизации человеческой деятельности предполагает автоматизацию не всегда априори предсказуемого и предусматриваемого взаимодействия между различными локальными средствами автоматизации, и поэтому требует использования не просто интеллектуальных компьютерных систем, а интероперабельных интеллектуальных, способных к самостоятельному эффективному взаимодействию в процессе коллективного решения комплексных задач, теория и технология разработки которых только недавно получили свое развитие. Человечество достигло больших успехов в автоматизации локальных видов и областей своей деятельности. При этом человек превратился в субъект, не только управляющий этими средствами, но и связывающий их между собой. Для того, чтобы в этом убедиться, достаточно проанализировать, на что тратится время каждого из нас, и можно ли это автоматизировать. Необходимость именно комплексного подхода к автоматизации человеческой деятельности обусловлена тем, что:

- все виды и области человеческой деятельности взаимосвязаны;
- автоматизация только локализованных видов и областей человеческой деятельности без автоматизации взаимодействия (связей) вынуждает людей вручную выполнять роль связующих звеньев между различными средствами автоматизации.

Массовое внедрение интеллектуальных компьютерных систем во все сферы человеческой деятельности и обеспечение их эффективного взаимодействия для коллективного решения сложных задач на стыках различных видов и областей переводит автоматизацию этой деятельности на качественно новый уровень. Локальное использование интеллектуальных компьютерных систем принципиально не может существенно повысить общий уровень автоматизации. Снижение этого уровня происходит на стыках. Это аналогично тому, что ремонт любой дороги на нескольких локальных участках при сохранении плохого качества дороги на промежутках между этими участками не может существенно повысить пропускную способность ремонтируемой дороги. Для решения проблемы осознанной (осмысленной) автоматической стыковки средств автоматизации различных локальных видов и областей автоматизируемой человеческой деятельности необходим высокий уровень интероперабельности указанных взаимодействующих средств автоматизации (т. е. высокий уровень семантической совместимости, договороспособности и способности к координации действий).

Конвергенция различных областей и видов человеческой деятельности как методологическая основа комплексной автоматизации

Все многообразие видов и областей человеческой деятельности должно быть переосмыслено на предмет их максимально возможной конвергенции для минимизации многообразия (дублирования) технических решений при разработке различных интеллектуальных компьютерных систем автоматизации человеческой деятельности. Для решения проблемы комплексной автоматизации человеческой деятельности необходимы конвергенция (обеспечение совместимости) и глубокая интеграция моделей, методов и средств автоматизации различных видов и областей человеческой деятельности. В этом и заключается суть интероперабельных интеллектуальных компьютерных систем. Но указанная конвергенция моделей, методов и средств автоматизации требует также конвергенции самих видов и областей человеческой деятельности (это существенно сократит многообразие средств автоматизации).

Конвергенция различных видов и областей человеческой деятельности предполагает построение общей формальной теории человеческой деятельности, являющейся основой для эффективной комплексной автоматизации ее всевозможных видов и областей, в основе которой лежат выявление аналогий и минимизация дублирования (многообразия), унификация и стандартизация технических решений. В результате этого многообразие частных (локальных) технических решений должно превратиться в систему семантически совместимых и эффективно взаимодействующих технических систем. Для того чтобы строго говорить о конвергенции различных видов

и областей человеческой деятельности, необходимо построить их четкую иерархическую систему. В качестве примера фрагмента такой системы рассмотрим структуру деятельности в области искусственного интеллекта, многообразие которой включает:

- развитие общей теории интеллектуальных компьютерных систем;
- развитие соответствующей технологии комплексной поддержки жизненного цикла интеллектуальных компьютерных систем;
- инженерную деятельность по созданию и эксплуатации прикладных интеллектуальных компьютерных систем, в том числе по развитию глобальной экосистемы этих систем;
- подготовку кадров в области искусственного интеллекта;
- разработку и реализацию тактики и стратегии развития искусственного интеллекта, организационное обеспечение этого развития.

Очевидно, что подобную структуру имеют все области человеческой деятельности, направленные на создание различных сложных искусственных (в том числе социотехнических) систем. При этом можно говорить об общих принципах организации и поддержки (автоматизации) с помощью интеллектуальных компьютерных систем для разных областей:

- научно-исследовательской деятельности;
- проектной деятельности;
- производственной деятельности;
- подготовки кадров.

В основе указанной конвергенции различных видов и областей человеческой деятельности лежит борьба с информационным кризисом (информационным потоком), с дублированием накапливаемых человечеством знаний и навыков. Для этого необходимы переход на смысловое представление знаний, удобное как для людей, так и для интеллектуальных компьютерных систем, а также конвергенция онтологий разных предметных областей (конвергенция соответствующих систем понятий). Особо следует подчеркнуть, что непосредственная текущая деятельность администраторов (менеджеров) различного уровня по контролю и управлению бизнес-процессами соответствующих им организаций должна быть полностью формализована, автоматизирована и заменена на деятельность по эволюции (модернизации, развитию, совершенствованию) этих организаций.

Архитектура глобальной экосистемы интероперабельных интеллектуальных компьютерных систем

Глобальная экосистема интероперабельных интеллектуальных компьютерных систем представляет собой сеть взаимодействующих индивидуальных интеллектуальных компьютерных систем. Детализация архитектуры экосистемы прежде всего предполагает ролевою типологию (специализацию) интеллектуальных компьютерных систем, входящих в экосистему:

- персональные ассистенты;
- порталы научно-технических знаний;
- интеллектуальные автоматизированные системы управления сложными объектами различного вида (производственными предприятиями, городами, организациями и др.);
- интеллектуальные обучающие системы;
- интеллектуальные системы автоматизированного проектирования (в том числе коллективного) сложных систем различного вида.

Кроме этого, типологию индивидуальных интеллектуальных компьютерных систем можно рассматривать по характеру их внешней среды:

- индивидуальная интеллектуальная компьютерная система, взаимодействующая только с другими индивидуальными интеллектуальными компьютерными системами;
- корпоративная интеллектуальная компьютерная система, обеспечивающая координацию деятельности соответствующего коллектива интеллектуальных компьютерных систем;
- индивидуальная интеллектуальная компьютерная система, взаимодействующая с другими индивидуальными интеллектуальными компьютерными системами и с физической окружающей средой;

- индивидуальная интеллектуальная компьютерная система, взаимодействующая с другими индивидуальными интеллектуальными компьютерными системами и с конкретным обслуживаемым пользователем (персональный ассистент пользователя).

Направления самостоятельной и искусственно поддерживаемой эволюции глобальной экосистемы интероперабельных интеллектуальных компьютерных систем

Важнейшим фактором, определяющим качество любой кибернетической системы (в том числе глобальной экосистемы интероперабельных интеллектуальных компьютерных систем), является не только ее функциональная мощность (множество всех решаемых ею задач, определяющих уровни ее самоорганизации и интеллекта), но и уровень ее обучаемости (уровень способности к собственной эволюции, к повышению своих уровней самоорганизации и интеллекта). Эволюция глобальной экосистемы интероперабельных интеллектуальных компьютерных систем осуществляется одновременно на следующих ее архитектурных уровнях в рамках:

- каждой индивидуальной интеллектуальной компьютерной системы, входящей в состав экосистемы (индивидуальная интеллектуальная компьютерная система – это целостная интеллектуальная компьютерная система, способная самостоятельно взаимодействовать с окружающей ее средой, в том числе с себе подобными);

- каждого входящего в экосистему коллектива индивидуальных интеллектуальных компьютерных систем, входящих в состав экосистемы (каждый такой коллектив представляет собой многоагентную систему, способную коллективно решать соответствующее множество задач);

- каждого входящего в экосистему иерархического коллектива интеллектуальных компьютерных систем, в состав каждого из которых могут входить и индивидуальные интеллектуальные компьютерные системы, и коллективы индивидуальных интеллектуальных компьютерных систем, и другие иерархические коллективы таких систем;

- каждой популяции интеллектуальных компьютерных систем, входящих в экосистему и автоматически порождаемых и обучаемых в ее рамках.

Выделим следующие направления эволюции индивидуальных и коллективных (многоагентных) кибернетических систем.

- Каждая индивидуальная кибернетическая система (индивидуум, особь, организм) эволюционирует (совершенствуется, самообучается) путем накопления информации об окружающей среде и приобретения опыта по взаимодействию с этой средой. Цель эволюции (самообучения) – выявление таких полезных факторов окружающей среды, которые способствуют сохранению целостности и увеличению срока жизни индивидуальной кибернетической системы, а также опасных (вредных) для кибернетической системы факторов окружающей среды.

- Каждая индивидуальная кибернетическая система имеет конечный срок жизненного цикла. Поэтому важнейший этап эволюции индивидуальных кибернетических систем – приобретение ими способности порождать (воспроизводить) себе подобных (например, путем деления). В результате этого вместо множества разнообразных индивидуальных кибернетических систем возникает множество разных популяций индивидуальных кибернетических систем, каждая из которых состоит из индивидуальных кибернетических систем одного вида, способных размножаться, т. е. порождать «потомство» новых себе подобных индивидуальных кибернетических систем, которым передается опыт, накопленный «предками».

- Переход от индивидуальных кибернетических систем к их коллективам, обеспечивающим существенное расширение множества решаемых задач. В основе таких коллективов лежат принципы организации взаимодействия индивидуальных кибернетических систем при коллективном решении сложных задач.

- Формирование (создание) для всех членов коллектива или популяции кибернетических систем общей памяти, в которой аккумулируются все накопленные ими знания и передаются всем членам коллектива или популяции кибернетических систем (в частности, от «предков» к «потомкам»). В основе указанной общей памяти лежит общий язык.

- Эволюция кибернетической системы, осуществляемая не только в форме повышения качества своей базы знаний, но также в форме модернизации собственной физической оболочки и в форме изменения своей внешней среды.

Заключение

1. Кризис современного состояния технологий искусственного интеллекта очевиден и требует перехода к принципиально новому поколению интеллектуальных компьютерных систем. В Республике Беларусь разработана не имеющая аналогов в мире стартовая версия комплексной технологии разработки и модернизации интеллектуальных компьютерных систем нового поколения, названная технологией OSTIS (Open Semantic Technology for Intelligent Systems). Интеллектуальные компьютерные системы нового поколения, разрабатываемые по этой технологии, названы ostis-системами. Сама технология OSTIS реализуется в форме специальной ostis-системы, которая названа метасистемой OSTIS и база знаний которой содержит: формальную теорию ostis-систем; стандарт ostis-систем и технологии OSTIS (стандарт OSTIS); ядро библиотеки многократно используемых компонентов ostis-систем (библиотеки OSTIS); методики и инструментальные средства поддержки жизненного цикла ostis-систем и их компонентов.

2. Текущее состояние технологии OSTIS прошло апробацию на целом ряде приложений, а также на ежегодных конференциях OSTIS, которые специально для этого были организованы, начиная с 2011 г. Состояние OSTIS позволяет не только продолжить работы по развитию этой технологии, но также начать работы по комплексному ее использованию для перевода современного уровня информатизации Республики Беларусь на принципиально новый уровень, основанный на массовом применении семантически совместимых и эффективно самостоятельно взаимодействующих друг с другом интеллектуальных компьютерных систем нового поколения. Основная проблема здесь заключается не в самих интеллектуальных компьютерных системах, а в необходимости переосмысления информатизации различных отраслей для обеспечения их семантической совместимости, стратифицированности, конвергентности и, в конечном счете, для максимально возможного упрощения соответствующих информационных ресурсов и информационных процессов – эклектичная, близорукая, несогласованная реализация информационных ресурсов и процессов искусственно и существенно усложняет информатизацию и без того весьма сложных видов и областей человеческой (точнее, социотехнической) деятельности, входящих в комплексную информатизацию Беларуси.

3. Кадровый потенциал, необходимый для реализации предлагаемой программы стратегического развития комплексной информатизации Республики Беларусь, имеется. С 1995 г. в БГУИР начата подготовка молодых специалистов по специальности «Искусственный интеллект» и создана соответствующая кафедра. В настоящее время подготовка специалистов по этой специальности ведется в четырех университетах республики – БГУИР, БрГТУ, ПГУ, ГрГУ.

Список литературы

1. Поспелов, Д. А. Ситуационное управление. Теория и практика / Д. А. Поспелов. М.: Наука, 1986.
2. Варшавский, В. А. Оркестр играет без дирижера. Размышления об эволюции некоторых технических систем и управлении ими / В. А. Варшавский, Д. А. Поспелов. М.: Наука, 1984.
3. Тарасов, В. Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика / В. Б. Тарасов. М.: Эдиториал УРСС, 2002.
4. Формирование стратегии развития Комитета по искусственному интеллекту в Научно-образовательном центре «Инженерия будущего» / И. И. Баринов [и др.] // Онтология проектирования. 2021. Т. 11, № 3. С. 260–293. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-3-260-293.
5. Голенков, В. В. Открытая технология онтологического проектирования, производства и эксплуатации семантически совместимых гибридных интеллектуальных компьютерных систем / В. В. Голенков, Н. А. Гулякина, Д. В. Шункевич. Минск: Бестпринт, 2021.
6. Технология комплексной поддержки жизненного цикла семантически совместимых интеллектуальных компьютерных систем нового поколения / Под общ. ред. В. В. Голенкова. Минск: Бестпринт, 2023.
7. Палагин, А. В. Проблемы трансдисциплинарности и роль информатики / А. В. Палагин // Кибернетика и системный анализ. 2013. № 5. С. 3–13.
8. Михневич, С. Ю. Эволюция понятия интероперабельности открытых информационных систем / С. Ю. Михневич, А. А. Тежар // Цифровая трансформация. 2023. Т. 29, № 2. С. 60–66. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-2-60-66>.
9. Головенчик, Г. Г. Цифровые технологии – ключевой драйвер развития умных городов: анализ мировых рейтингов / Г. Г. Головенчик // Цифровая трансформация. 2022. Т. 28, № 1. С. 5–19. <http://doi.org/10.35596/2522-9613-2022-28-1-5-19>.

References

1. Pospelov D. A. (1986) *Situational Management. Theory and Practice*. Moscow, Nauka Publ. (in Russian).
2. Varshavsky V. A., Pospelov D. A. (1984) *Orchestra Plays Without a Conductor. Reflections on the Evolution of Some Technical Systems and Their Management*. Moscow, Nauka Publ. (in Russian).
3. Tarasov V. B. (2002) *From Multi-Agent Systems to Intelligent Organizations: Philosophy, Psychology, Informatics*. Moscow, Editorial URSS (in Russian).
4. Barinov I. I., Borgest N. M., Borovik S. Yu., Granichin O. N., Grachev S. P., Gromyko Yu. V., et al. (2021) Development Strategy Formation of the Committee on Artificial Intelligence in the Scientific and Educational Center “Engineering of the Future”. *Ontology of Designing*. 11 (3), 260–293. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-3-260-293 (in Russian).
5. Golenkov V. V., Gulyakina N. A., Shunkevich D. V. (2021) *Open Technology of Ontological Design, Production and Operation of Semantically Compatible Hybrid Intelligent Computer Systems*. Minsk, Bestprint Publ. (in Russian).
6. Golenkov V. V. (ed.) (2023) *Technology of Complex Life Cycle Support of Semantically Compatible Intelligent Computer Systems of New Generation*. Minsk, Bestprint Publ. (in Russian).
7. Palagin A. V. (2013) Problems of Transdisciplinarity and the Role of Informatics. *Cybernetics and System Analysis*. (5), 3–13 (in Russian).
8. Mikhnevich S. Y., Tsezhar A. A. (2023) Evolution of the Concept of Interoperability of Open Information Systems. *Digital Transformation*. 29 (2), 60–66. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-2-60-66> (in Russian).
9. Golovenchik G. G. (2022) Digital Technologies Are a Key Driver of the Development of Smart Cities: Analysis of World Rankings. *Digital Transformation*. 28 (1), 5–19. <http://doi.org/10.35596/2522-9613-2022-28-1-5-19> (in Russian).

Вклад авторов / Authors' contribution

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

Сведения об авторах

Голенков В. В., д-р техн. наук, проф., проф. каф. интеллектуальных информационных технологий, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Гулякина Н. А., канд. физ.-мат. наук, доц., доц. каф. интеллектуальных информационных технологий, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Шункевич Д. В., канд. техн. наук, доц., зав. каф. интеллектуальных информационных технологий, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. П. Бровки, 6
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
Тел.: +375 17 293-80-92
E-mail: golen@bsuir.by
Голенков Владимир Васильевич

Information about the authors

Golenkov V. V., Dr. of Sci. (Tech.), Professor, Professor at the Department of Intelligent Information Technologies, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

Gulyakina N. A., Cand. of Sci., Associate Professor, Associate Professor at the Department of Intelligent Information Technologies, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

Shunkevich D. V., Cand. of Sci., Associate Professor, Head of the Department of Intelligent Information Technologies, 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 17 293-80-92
E-mail: golen@bsuir.by
Golenkov Vladimir Vasilievich



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-1-52-62>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 004.056:342.722:351.771

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОБЛАЧНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСИ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОННОГО ГОЛОСОВАНИЯ

В. А. ГЕРАСИМОВ, М. А. КАЗЛОВСКИЙ

Научно-исследовательский институт технической защиты информации (г. Минск, Республика Беларусь)

Поступила в редакцию 17.11.2023

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

Аннотация. Статья посвящена вопросам проблематики аутентификации избирателей в системах электронного голосования и созданию описания модели системы, которая предназначена для организации электронного голосования с использованием системы облачной подписи как надежного решения для аутентификации. В рамках исследования формализовано понятие электронного голосования и приведен перечень его этапов. Отмечены проблемы существующих систем аутентификации избирателей в системах электронного голосования. Обоснованы преимущества электронной цифровой подписи как наиболее надежного способа аутентификации, указаны недостатки такого подхода и предложены возможные пути их устранения. Описаны компоненты системы облачной подписи и приведена схема протокола активации подписи, который используется в процессе выработки электронной цифровой подписи. Представлено описание разработанного протокола регистрации избирателя в системе электронного голосования. Продемонстрирована возможность использования системы облачной подписи в рамках протокола регистрации избирателя в системе электронного голосования. Проведен анализ стойкости предлагаемого протокола к известным атакам.

Ключевые слова: система облачной подписи, электронное голосование, протокол аутентификации, электронная цифровая подпись, протокол активации подписи, защита персональных данных.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Герасимов, В. А. Использование системы облачной электронной подписи для организации электронного голосования / В. А. Герасимов, М. А. Казловский // Цифровая трансформация. 2024. Т. 30, № 1. С. 52–62. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-1-52-62>.

USING A CLOUD-BASED ELECTRONIC SIGNATURE SYSTEM FOR ORGANIZING ELECTRONIC VOTING

VYACHESLAV A. HERASIMAU, MAKSIM A. KAZLOUSKI

Scientific Research Institute of Technical Protection of Information (Minsk, Republic of Belarus)

Submitted 17.11.2023

Abstract. The article is devoted to the research on the issues of voter authentication in electronic voting systems and the creation of a description of a system model that is designed to organize electronic voting using a cloud signature system as a reliable authentication method. Within the framework of the study, the concept of electronic voting is formalized and a list of stages. The shortcomings of existing voter authentication systems are noted. The advantages of an electronic digital signature as the most reliable method of authentication are substantiated, the disadvantages of this approach are indicated and possible ways to eliminate them are proposed. The components of the cloud signature system are described and a diagram of the signature activation protocol, which is used in the process of generating an electronic digital signature, is provided. A description of the developed voter re-

gistration protocol in the electronic voting system is presented. The possibility of using a cloud signature system as part of the voter registration protocol in the electronic voting system is demonstrated. An analysis of the resistance of the proposed protocol to known attacks is carried out.

Keywords: cloud signature system, electronic voting, authentication protocol, electronic digital signature, signature activation protocol, personal data protection.

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

For citation. Herasimau V. A., Kazlouski M. A. (2024) Using a Cloud-Based Electronic Signature System for Organizing Electronic Voting. *Digital Transformation*. 30 (1), 52–62. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-1-52-62> (in Russian).

Введение

В настоящее время активно происходит цифровизация многих сфер общественной жизни. Так, существует тенденция использования электронного голосования при проведении избирательных кампаний. Электронное голосование имеет ряд важных преимуществ перед обычным, в том числе повышение уровня доверия к результатам, уменьшение стоимости организации выборов, увеличение явки избирателей. При этом важно, чтобы криптографические протоколы, лежащие в основе системы электронного голосования, а также архитектура этой системы гарантировали защиту от известных типов атак. Необходимо понимать, что такие события, как нарушение анонимности избирателей, раскрытие промежуточных итогов голосования до его завершения, отказ в обслуживании избирателя, серьезно снизят доверие общества к подобной форме проведения выборов. Поэтому наиболее разумным видится постепенное внедрение электронного голосования, в первую очередь для тех категорий граждан, которые по объективным причинам не могут проголосовать на избирательном участке.

Реализация надежной системы электронного голосования ставит перед ее разработчиками важные вопросы, связанные с выбором криптографических механизмов и архитектурных решений, необходимых для обеспечения требуемых от системы свойств безопасности. Одним из таких вопросов является организация процедуры аутентификации избирателя. Необходимо использовать надежные механизмы аутентификации, которые позволят организаторам и наблюдателям подтвердить личность избирателя, а также гарантируют, что избиратель не сможет отрицать прохождение аутентификации в системе электронного голосования.

Наиболее надежный способ – организация аутентификации на основе предъявления избирателем электронной цифровой подписи (ЭЦП) и сертификата открытого ключа (СОК), с помощью которого можно проверить действительность предъявляемой подписи. Такое решение будет обеспечивать требуемый уровень гарантий безопасности, но только в том случае, когда обеспечена надежная защита личного ключа избирателя. Как правило, для хранения личных ключей используются криптографические токены, которые обеспечивают их аппаратную защиту. Однако на текущий момент они не имеют широкого распространения, что связано со сравнительно небольшим списком поддерживаемых ими операционных систем. Достойной альтернативой подобным решениям может служить система облачной электронной подписи (СОП), в основе которой лежит аппаратное устройство создания подписи (УСП). УСП отвечает за генерацию и безопасное хранение личных ключей большого количества пользователей.

Цель исследования, результаты которого представлены в статье, состояла в проведении анализа организации процедуры аутентификации в системах электронного голосования, разработке с учетом результатов этого анализа модели системы электронного голосования с использованием облачной электронной цифровой подписи, а также в оценке стойкости заложенного в основу этой модели механизма регистрации избирателя к известным типам атак.

Аутентификация в системах электронного голосования

При проведении обычного голосования аутентификация избирателя выполняется по сильному удостоверению¹ личности (паспорту или иному аналогичному документу) путем сличения пер-

¹ Информационные технологии и безопасность. Инфраструктуры аутентификации: СТБ 34.101.87–2022 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://apmi.bsu.by/assets/files/std/bias-spec130.pdf>. Дата доступа: 26.10.2023.

сональных данных из удостоверения с данными, которые внесены в составленные организаторами голосования списки избирателей. Такой метод аутентификации обладает достаточно высоким уровнем надежности: атаковать его возможно только в случае появления нечестного регистратора (лица, которое отвечает за проведение аутентификации и выдачу избирателю бюллетеня для голосования), который будет выдавать бюллетени отсутствующим в списках или предъявляющим недействительные удостоверения личности избирателям. Недостатком описанного метода аутентификации являются значительные трудности проведения аудита процедуры регистрации: доказать или опровергнуть факт нечестных действий регистратора практически невозможно.

В электронном голосовании выделяют три основных этапа: регистрация, голосование и подсчет голосов. Аутентификация избирателя обычно осуществляется на этапе регистрации. Предполагается, что в ходе этого этапа избиратель подтверждает свою личность, после чего регистрационная комиссия проверяет, имеет ли данный избиратель право голосовать, и, в случае положительного решения, осуществляет выдачу избирателю бюллетеня. Бюллетень в данном контексте – некоторый объект произвольного формата, который избиратель предъявляет на этапе голосования для того, чтобы его голос был учтен на этапе подсчета голосов. Как правило, вопрос организации процедуры аутентификации избирателей в рамках описания системы электронного голосования подробно не обсуждается. Другими словами, обычно предполагается, что избиратель каким-либо образом подтверждает свою личность перед получением бюллетеня, но не описывается механизм организации этого подтверждения. Тем не менее надежность схемы аутентификации напрямую влияет на безопасность системы электронного голосования в целом.

На практике аутентификация в системах электронного голосования может быть организована различными способами. В швейцарской системе голосования CHVote предполагается рассылка секретных кодов в виде обычного письма, которое направляется по адресу регистрации избирателя. В дальнейшем избиратель использует один из полученных кодов (код голосования) для прохождения аутентификации на базе протокола идентификации Шнорра [1]. Понятно, что подобная система не может гарантировать подлинность личности избирателя, ведь конверт с реквизитами может быть перехвачен в процессе его доставки. В Российской Федерации при организации электронного голосования аутентификация проводилась через Единый портал государственных услуг Российской Федерации². Успешно пройдя аутентификацию, избиратель получал от портала подписанный токен идентификации, который в дальнейшем предъявляется для участия в процедуре голосования. Однако такой подход тоже не может считаться надежным [2]. С одной стороны, противники могут аутентифицироваться под видом избирателя, если он использует одинаковый пароль для всех сайтов или допустил попадание вредоносного программного обеспечения на свое устройство для голосования (персональный компьютер, смартфон). С другой стороны, избиратель может утверждать, что не использовал портал для аутентификации и не принимал участия в голосовании, а отданный от его лица голос сформирован посторонним лицом, которому оператор портала раскрыл аутентификационные данные избирателя.

Приведенные примеры еще раз подтверждают, что для организации надежной процедуры аутентификации необходимо использовать исключительно криптографические механизмы [3], при этом важно обеспечить надежную защиту секрета аутентификации. Одним из наиболее естественных вариантов является аутентификация с использованием ЭЦП. В рамках данного подхода предполагается, что избиратель имеет доступ к контейнеру, в котором хранится его личный ключ. Используя пароль от контейнера, избиратель может сформировать запрос на аутентификацию, в котором предоставит регистратору доказательство владения личным ключом: выработает с его помощью подпись некоторого набора данных определенного формата. Регистратор может воспользоваться СОК избирателя, чтобы провести проверку действительности его ЭЦП. Успешное прохождение проверки означает, что избиратель прошел аутентификацию и может быть допущен к участию в голосовании.

Описанный подход имеет несколько серьезных преимуществ. Во-первых, существуют строгие требования к защите личного ключа, которые снижают вероятность успешной аутентификации противника от лица избирателя даже в том случае, когда противник смог получить доступ к контейнеру с личным ключом. Удостоверяющие центры, осуществляющие выпуск СОК, как прави-

² Описание протокола ДЭГ к выборам, голосование на которых состоится 17, 18 и 19 сентября 2021 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://vybory.gov.ru/resources/static/materials/9/deg2021_protocol.pdf. Дата доступа: 26.10.2023.

ло, требуют использовать аппаратный криптографический токен, который имеет строгие ограничения на число неуспешных попыток аутентификации владельца. Во-вторых, ЭЦП, сформированная с помощью личного ключа избирателя, гарантирует невозможность отказа от авторства. Другими словами, так как доступ к личному ключу есть только у его владельца, то избиратель не сможет заявить, что кто-то другой вместо него прошел аутентификацию и принял участие в голосовании. В-третьих, такая процедура аутентификации обладает достаточной прозрачностью, поскольку при регистрации используется открытый ключ, который связан с выпущенным удостоверяющим центром СОК. Поэтому при валидации результатов голосования наблюдатели могут установить связь между открытым ключом в запросе на аутентификацию и конкретным лицом, на имя которого был выдан сертификат.

Есть у такого подхода и свои недостатки. Во-первых, далеко не каждый избиратель имеет желание и возможность приобрести аппаратный криптографический токен и корректно сконфигурировать его. Более того, большинство токенов не способны взаимодействовать с мобильными операционными системами (Android, IOS), а ряд избирателей обладают персональными вычислительными устройствами только на этих платформах. В качестве возможного механизма, который может устранить указанный недостаток, можно предложить использование СОП. В этом случае личный ключ избирателя будет храниться на специальном аппаратном токене – УСП. УСП может хранить личные ключи множества избирателей, а его механизмы безопасности спроектированы таким образом, что даже администраторы УСП никогда не смогут получить доступ к хранящимся на нем личным ключам. Использование СОП позволит избирателю проходить аутентификацию в системе электронного голосования без аппаратного криптографического токена. В следующем разделе статьи рассмотрены архитектура СОП, механизмы обеспечения безопасности процесса выработки подписи, а также предложен вариант реализации этих механизмов. Во-вторых, при использовании личного ключа для аутентификации возникает вопрос защиты персональных данных его владельца. Данный недостаток связан с принципом функционирования инфраструктуры открытых ключей: пользователь генерирует личный ключ, строит по нему открытый ключ, формирует заявку на выпуск СОК, указывает в ней свои персональные данные и подписывает ее с помощью личного ключа; рассмотрев заявку, удостоверяющий центр выпускает СОК, в котором указываются как открытый ключ пользователя, так и его персональные данные; в дальнейшем СОК используется при проверке ЭЦП, которые пользователь выработал на своем личном ключе. К сожалению, явное использование сертификата избирателя в рамках аутентификации при регистрации на участие в электронном голосовании недопустимо, так как для соответствия требованиям по проверяемости системы все запросы к регистратору и его ответы должны быть общедоступными. Но в этом случае СОК избирателя, а, следовательно, и его персональные данные (фамилия, имя, отчество, личный номер паспорта и др.) тоже будут общедоступными, что противоречит действующему законодательству. Чтобы устранить указанный недостаток, в разделе статьи «Протокол регистрации избирателя на основе облачной электронной подписи» представлен протокол регистрации избирателя, который не будет использовать СОК избирателя в явном виде, а также рассмотрены вопросы безопасности указанного протокола и его интеграции в СОП.

Архитектура системы облачной электронной цифровой подписи

В основе облачных систем лежит понятие облачных вычислений. По определению, предложенному Национальным институтом стандартов и технологий США (NIST), облачные вычисления – модель по обеспечению повсеместного, удобного сетевого доступа к общему объединению конфигурируемых вычислительных ресурсов, которые могут быть быстро выделены и предоставлены [4]. Облачные вычисления относятся как к приложениям, которые предоставляются как услуги через интернет, так и к оборудованию, системному программному обеспечению в центрах обработки данных. При этом под облачной услугой (сервисом) понимается услуга, предоставляющая доступ к облачным ресурсам ее потребителям. СОП предназначена для дистанционного создания электронного документа с использованием для подписи личного ключа подписанта под его контролем.

Личный ключ подписанта хранится в удаленном программно-аппаратном УСП, и подписант с помощью определенных механизмов получает доступ к своему личному ключу. Личный ключ

подписанта хранится в структуре данных, которая называется «слот». Чтобы выработать значимые подписи электронного документа, подписанту необходимо выполнить следующие действия:

- 1) открыть сессию со слотом;
- 2) установить защищенное соединение между приложением подписанта и устройством создания подписи;
- 3) пройти процесс аутентификации в слоте пользователя УСП.

После перечисленных действий подписант получает доступ к своему слоту и может выполнять действия, которые определены ролевой моделью доступа к СОП. СОП состоит из компонентов, позволяющих обеспечить безопасную выработку электронной подписи³:

- сервера подписи (СП), предназначенного для генерации и хранения личных ключей подписантов, выработки ЭЦП под контролем подписантов от их лица;
- УСП – составного компонента СП, который является аппаратным средством криптографической защиты информации;
- сервера документооборота (СД), предназначенного для создания и проверки электронного документа;
- клиентской программы (КП), предназначенной для взаимодействия подписанта с компонентами системы облачной подписи;
- сервера регистрации (СР), отвечающего за регистрацию и деактивацию аккаунтов подписантов в СОП;
- прикладной системы (ПС) – внешнего компонента по отношению к системе облачной подписи, отвечающего за загрузку, разработку, хранение и отображение подписываемых документов.

Основными функциями СОП являются:

- инициализация УСП для дальнейшей эксплуатации в СОП;
- регистрация пользователя и закрепление слота для выработки облачной электронной подписи за пользователем;
- выпуск СОК;
- установка пароля для отзыва СОК;
- отзыв СОК по паролю;
- отзыв СОК по ключу;
- смена PIN от слота пользователя;
- удаление слота пользователя;
- разблокировка слота пользователя;
- выработка значения облачной электронной подписи.

Для того чтобы подписант был уверен, что документ, который он подписывает с помощью СОП, не был модифицирован, обычно предлагается применять определенные механизмы, гарантирующие возможность использования личного ключа подписанта только под его контролем. К таким механизмам относится протокол активации подписи⁴ (ПАП), представляющий собой последовательность определенных шагов, при выполнении которых подписант получает документ с ЭЦП, выработанной с помощью облачных технологий. При этом выработка ЭЦП происходит на аппаратной части СОП – УСП. Использование ПАП для выработки значения ЭЦП является ключевым для того, чтобы гарантировать подписанту, что кроме него никто не сможет выработать подпись на его личном ключе, находящемся в УСП.

Использование ПАП в СОП позволяет получить защиту от ряда атак: перехват аутентификатора, угадывание аутентификатора, подбор аутентификатора, перехват сообщений протокола, раскрытие приватных данных, повтор сеанса, противник посередине, вредоносные программы, подделка билета аутентификации, перенаправление билета аутентификации, повторное использование билета аутентификации, подделка вторичного аутентификатора, перехват вторичного аутентификатора, подмена ответов, кража сеанса.

Авторами статьи разработан собственный вариант ПАП, не только удовлетворяющий всем необходимым механизмам безопасности, но и пригодный для интеграции с используемой сегодня в нашей стране ПС. Схема протокола с компонентами СОП представлена на рис. 1.

³ Отчет о составной части ОКР «Совершенствование инфраструктуры открытых ключей на основе современных веб-технологий».

⁴ Облачная электронная цифровая подпись: протокол активации подписи [Электронный ресурс]. Режим доступа <https://elib.bsu.by/handle/123456789/303664>. Дата доступа: 10.11.2023.

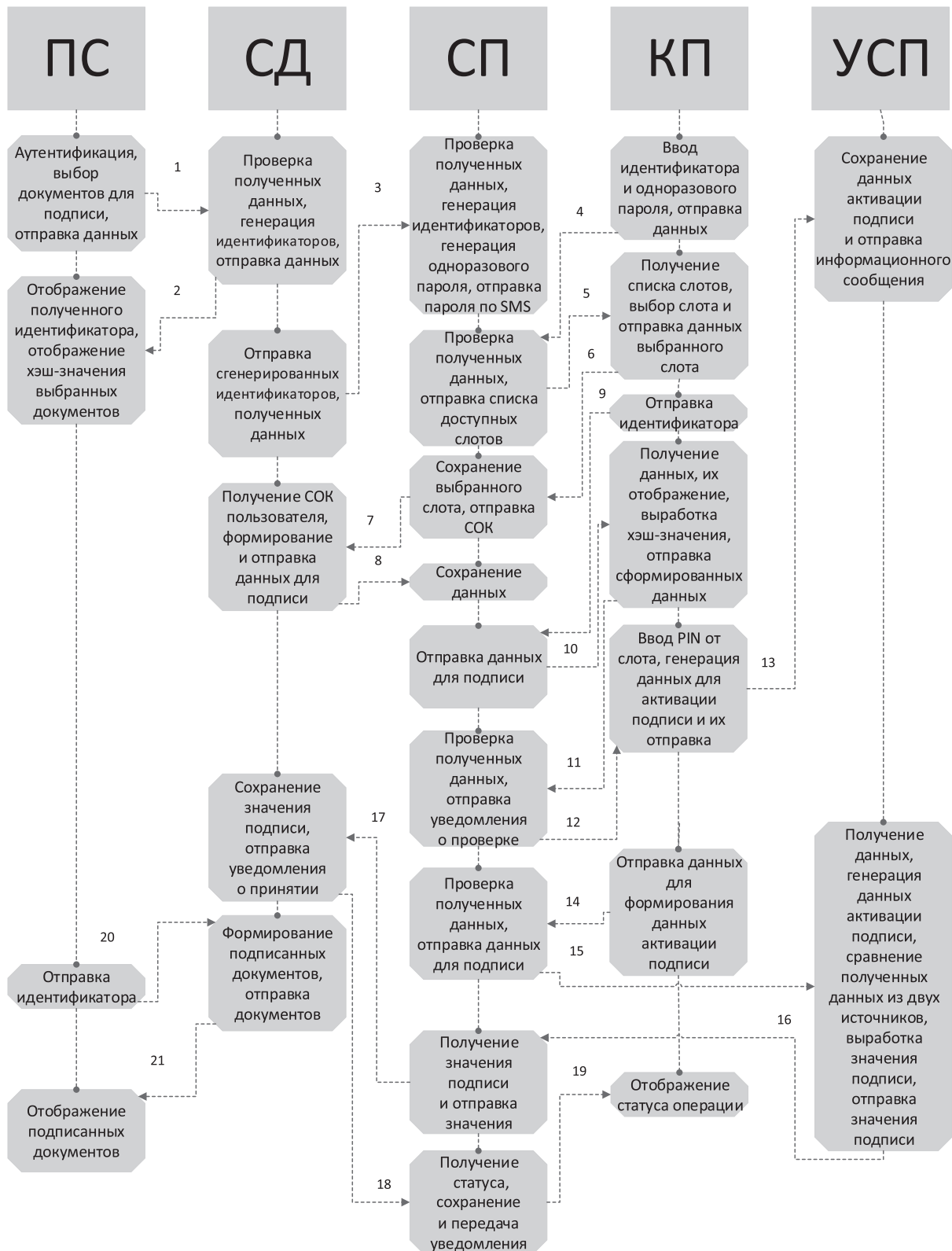


Рис. 1. Протокол активации подписи
Fig. 1. Signature activation protocol

Протокол регистрации избирателя на основе облачной электронной подписи

Как уже упоминалось в разделе «Аутентификация в системах электронного голосования», протокол регистрации избирателя перед системой электронного голосования должен удовлетворять ряду требований:

- 1) обеспечивать минимальную вероятность успешного прохождения аутентификации третьим лицом;
- 2) не раскрывать персональных данных избирателя;
- 3) обеспечивать невозможность отрицания избирателем факта прохождения аутентификации;
- 4) позволять провести аудит процедуры регистрации любого избирателя;
- 5) иметь адекватную вычислительную сложность, позволяющую использовать протокол на практике.

В предлагаемом протоколе регистрации избирателя участвуют две стороны: КПП – клиентская программа для голосования (клиентское приложение, которое используется пользователем для регистрации и участия в голосовании); ЦИК – центральная избирательная комиссия (сервер, выполняющий аутентификацию пользователя, желающего зарегистрироваться в качестве избирателя).

Сделаем ряд предположений, необходимых для успешной работы протокола.

1. Пользователь имеет криптографический токен, на котором хранится его долговременный личный ключ *static_priv_client*. По этому ключу построен долговременный открытый ключ пользователя *static_pub_client*, для которого удостоверяющим центром выпущен СОК *cert_client*. Сертификат *cert_client* хранится на том же персональном устройстве пользователя, на которое установлена КПП.

2. Криптографический токен, на котором хранится долговременный личный ключ пользователя *static_priv_client*. Токен умеет вырабатывать с его помощью ЭЦП по алгоритму выработки подписи *SIGN*, который также использует КПП.

3. СОК *cert_client* содержит в своем составе компонент *subject*, в котором расположены персональные данные, позволяющие однозначно идентифицировать пользователя (как минимум там содержатся фамилия, имя, отчество и личный номер паспорта).

4. ЦИК имеет криптографический токен, на котором хранится его долговременный личный ключ *static_priv_ces*. По этому ключу построен долговременный открытый ключ ЦИК *static_pub_ces*, для которого удостоверяющим центром выпущен СОК *cert_ces*.

5. В КПП «вшит» СОК ЦИК *cert_ces* в качестве доверенного сертификата.

6. Канал связи между КПП и ЦИК обеспечивает конфиденциальность, целостность и подлинность передаваемых сообщений (например, используется протокол TLS с аутентификацией ЦИК перед КПП с помощью *cert_ces*).

7. Каждое голосование имеет уникальный идентификатор голосования *id_vote*. Список доступных на текущий момент времени идентификаторов голосования поступает в КПП от ЦИК. Пользователь выбирает идентификатор голосования, в котором хочет принять участие перед началом процедуры регистрации.

Предлагаемый протокол регистрации состоит из двух этапов: на первом КПП отправляет в ЦИК набор данных, которые необходимы для аутентификации и регистрации избирателя, на втором ЦИК отправляет в КПП ответ, содержащий либо подтверждение регистрации, либо сообщение об ошибке.

Первый этап протокола выполняется на стороне КПП, состоит из четырех шагов, по завершении которых КПП отправит в ЦИК сообщение, содержащее необходимые для проведения аутентификации пользователя и его регистрации в качестве избирателя данные.

1. На шаге 1.1 КПП с помощью алгоритма *GenKeyPair* генерирует пару эфемерных ключей: *eph_priv* – эфемерный личный ключ, *eph_pub* – эфемерный открытый ключ. В качестве алгоритма генерации пары ключей *GenKeyPair* может выступать алгоритм из СТБ 34.101.45–2013 (п. 6.2.2).

2. На шаге 1.2 КПП с помощью алгоритма *H* вычисляет хэш-значение *h_sub* от компонента *subject* из принадлежащего пользователю СОК *cert_client*. В качестве алгоритма хэширования *H* может выступать алгоритм из СТБ 34.101.31–2020 (п. 7.8) или из СТБ 34.101.77–2020 (разд. 7) в зависимости от требуемого уровня стойкости.

3. На шаге 1.3 КПП с помощью алгоритма *SIGN* вырабатывает подпись *s_data* от полученного на шаге 1.2 хэш-значения *h_sub* и уникального идентификатора голосования *id_vote* с использованием сгенерированного на шаге 1.1 эфемерного личного ключа *eph_priv*. В качестве алгоритма выработки подписи *SIGN* может выступать алгоритм из СТБ 34.101.45–2013 (п. 7.1.3).

4. На шаге 1.4 КПП обращается к криптографическому токenu, который с помощью алгоритма *SIGN* вырабатывает подпись *s_key* от полученного на шаге 1.3 значения подписи *s_data* и полученного на шаге 1.1 эфемерного открытого ключа *eph_pub* с использованием долговременного личного ключа пользователя *static_priv_client*. В качестве алгоритма выработки подписи *SIGN* может выступать алгоритм из СТБ 34.101.45–2013 (п. 7.1.3).

5. После завершения шагов 1.1–1.4 КПП отправляет в ЦИК пять объектов: полученный на шаге 1.1 эфемерный открытый ключ *eph_pub*, полученное на шаге 1.2 хэш-значение *h_sub*, выработанные на шагах 1.3 и 1.4 значения подписей *s_data* и *s_key* соответственно, и уникальный идентификатор голосования *id_vote*.

Второй этап протокола выполняется на стороне ЦИК, состоит из четырех шагов, по завершении которых ЦИК отправит в КПП или облегченный сертификат *cvc*, содержащий эфемерный открытый ключ пользователя *eph_pub*, или сообщение об ошибке аутентификации.

1. На шаге 2.1 ЦИК проверяет действительность идентификатора голосования *id_vote*: если данный идентификатор отсутствует в списке идентификаторов активных голосований, то протокол завершается с ошибкой *bad_vid*. Далее ЦИК проверяет действительность хэш-значения *h_sub*: если данное хэш-значение отсутствует в списке хэш-значений компонентов *subject* из СОК избирателей, допущенных к участию в голосовании *id_vote*, то протокол завершается с ошибкой *bad_hsub*. Наконец, ЦИК извлекает долговременный открытый ключ *static_pub_client* из СОК *cert_client*, хэш-значение компонента *subject* которого равно *h_sub*.

2. На шаге 2.2 ЦИК с помощью алгоритма *VERIFY* проверяет корректность значения ЭЦП *s_data*, при этом в качестве подписанных данных выступают *s_data* и *eph_pub*, а в качестве открытого ключа – долговременный открытый ключ пользователя *static_pub_client*. Если подпись признана некорректной, то протокол завершается с ошибкой *bad_lsign*. В качестве алгоритма проверки подписи *VERIFY* может выступать алгоритм из СТБ 34.101.45–2013 (п. 7.1.4).

3. На шаге 2.3 ЦИК с помощью алгоритма *VERIFY* проверяет корректность значения ЭЦП *s_key*, при этом в качестве подписанных данных выступают *h_sub* и *id_vote*, а в качестве открытого ключа – эфемерный открытый ключ пользователя *eph_pub*. Если подпись признана некорректной, то протокол завершается с ошибкой *bad_esign*. В качестве алгоритма проверки подписи *VERIFY* может выступать алгоритм из СТБ 34.101.45–2013 (п. 7.1.4).

4. На шаге 2.4 ЦИК обращается к криптографическому токenu, который с помощью алгоритма *SIGN* вырабатывает подпись *cv_sign* от набора данных, который, в том числе, включает идентификатор ЦИК *cec_id*, эфемерный открытый ключ пользователя *eph_pub*, хэш-значение *h_sub*, идентификатор голосования *id_vote*, дату выпуска сертификата *start* и дату окончания действия сертификата *end*, с использованием долговременного личного ключа ЦИК *static_priv_cec*. В качестве алгоритма выработки подписи *SIGN* может выступать алгоритм из СТБ 34.101.45–2013 (п. 7.1.3).

5. После завершения шагов 2.1–2.4 ЦИК отправляет в КПП облегченный сертификат *cvc*, который представляет собой пару, состоящую из набора подписанных на шаге 2.4 данных и значения их подписи *cv_sign*, полученного на этом же шаге.

Протокол регистрации избирателя может быть записан в следующей краткой форме:

1. КПП → ЦИК: $eph_priv, eph_pub \parallel h_sub \parallel s_data \parallel s_key \parallel id_vote$
- 1.1. $eph_priv, eph_pub \leftarrow GenKeyPair()$
- 1.2. $h_sub \leftarrow H(cert_client.subject)$
- 1.3. $s_data \leftarrow SIGN_{eph_priv}(h_sub \parallel id_vote)$
- 1.4. $s_key \leftarrow SIGN_{static_priv_client}(s_data \parallel eph_pub)$
2. ЦИК → КПП: $cvc = ((cec_id \parallel eph_pub \parallel h_sub \parallel id_vote \parallel start \parallel end), cv_sign)$
- 2.1. Проверить корректность *id_vote* и *h_sub*
- 2.2. $VERIFY_{static_pub_client}(s_key, s_data \parallel eph_pub)$
- 2.3. $VERIFY_{eph_pub}(s_data, h_sub \parallel id_vote)$
- 2.4. $cv_sign \leftarrow SIGN_{static_priv_cec}(cec_id \parallel eph_pub \parallel h_sub \parallel id_vote \parallel start \parallel end)$

Таким образом, успешное завершение шагов 2.2 и 2.3 означает, что пользователь, обладающий уникальным идентификатором *h_sub*, запросивший у ЦИК регистрацию своего эфемерного открытого ключа *eph_pub* в качестве ключа для участия в голосовании *id_vote*, подтвердил как обладание ассоциированным с идентификатором *h_sub* долговременным личным ключом *static_priv_client* (через подпись *s_key*), так и обладание эфемерным личным ключом *eph_priv*

(через подпись s_data). Это значит, что владелец СОК $cert_client$ действительно изъявил желание принять участие в голосовании id_vote и имеет подходящую для этого пару эфемерных ключей (eph_priv , eph_pub). Соответственно, ЦИК может выпустить облегченный сертификат svc , который необходим для обеспечения доверия со стороны всех субъектов системы электронного голосования к вырабатываемым избирателем ЭЦП.

После успешного завершения протокола регистрации избирателя КПП владеет как эфемерным личным ключом eph_priv , который позволяет вырабатывать ЭЦП для любых сообщений, так и облегченным сертификатом svc , с помощью которого любой участник системы электронного голосования сможет выполнить проверку корректности выработанной подписи и убедиться в успешном прохождении данным избирателем процедуры регистрации. Таким образом, полученный набор из личного ключа eph_priv и сертификата svc является необходимым и достаточным условием для того, чтобы избиратель смог принять участие в электронном голосовании. При этом не имеет значения, какая именно система электронного голосования используется, потому что его применение для подтверждения права голоса избирателя возможно для любого протокола голосования, быть может с небольшой тривиальной модификацией.

Отметим, что на шаге 1.4 протокола регистрации КПП обращается к криптографическому токenu для выработки ЭЦП. Это может быть как обычный аппаратный токен (например, идентификационная карта или криптографический токен в формате USB-носителя), подключенный к устройству с запущенной КПП, так и аппаратное УСП, которое функционирует в рамках СОП. Во втором случае процедура выработки ЭЦП несколько усложняется. КПП сформирует документ, содержащий, согласно требованиям протокола, необходимые для подписи данные, после чего пользователь должен будет выполнить необходимые действия, которые приведены в описании ПАП: аутентифицироваться перед ПС, загрузить сформированный документ и пройти все шаги, необходимые для подписания данного документа. После получения ПС подписанного документа (последний шаг ПАП) пользователь сохраняет его и указывает путь к файлу в КПП. КПП извлекает из полученного файла нужную для регистрации подпись s_key . Таким образом, разработанный протокол регистрации избирателя может использоваться как для персонального аппаратного токена, так и для аппаратного УСП.

Рассмотрим защиту приведенного протокола регистрации избирателя от основных криптографических атак на протоколы аутентификации.

1. *Перехват аутентификатора.* Для аутентификации пользователя используется подпись s_key , которая вырабатывается с помощью долговременного личного ключа $static_priv_client$. В качестве аутентификатора выступает личный ключ, хранящийся на аппаратном криптографическом токене. Для доступа к ключу владелец должен пройти аутентификацию перед токеном, которая осуществляется путем ввода пароля. Если несколько раз будет введен неверный пароль, токен перейдет в состояние блокировки, в котором невозможно выполнение любых операций с личным ключом. Таким образом, защита организована с помощью аппаратных методов, реализованных в используемом токене.

2. *Угадывание и подбор аутентификатора.* Личный ключ $static_priv_client$ выбирается равновероятно из множества чисел от 1 до $\approx 2^{256}$ (при минимально допустимом уровне стойкости $l = 128$). Вероятность угадать или подобрать ключ в подобной ситуации пренебрежимо мала.

3. *Перехват сообщений протокола.* Канал связи между КПП и ЦИК защищен с помощью протокола TLS. Даже при перехвате противником всех сообщений протокола он не сможет определить ни общий мастер-ключ, который формируется по результатам выполнения протокола, ни секреты, использующиеся во время выполнения протокола.

4. *Раскрытие частных данных.* Любые данные между КПП и ЦИК передаются по защищенному TLS-соединению, при этом для организации данного соединения используется односторонняя аутентификация (ЦИК аутентифицируется перед КПП), поэтому персональные данные пользователя не требуются. Использование защищенных соединений гарантирует для передаваемых по ним данных конфиденциальность, контроль целостности и подлинности криптографическими методами.

5. *Повтор.* Для раскрытия содержимого TLS-соединений (т. е. раскрытия сообщений протокола регистрации избирателя) противнику требуется провести успешную атаку на протокол TLS. На текущий момент для корректно сконфигурированного протокола (разрешены только надеж-

ные криптонаборы, включены дополнительные расширения приветственных сообщений) TLS версии 1.2 не существует известных атак.

6. *Противник посередине.* Использование протокола TLS для защиты соединения между сторонами протокола регистрации избирателя обеспечивает защиту от атаки типа «противник посередине». Противник может попытаться выдать себя за КПП перед ЦИК, однако, так как протокол состоит из запроса к ЦИК и ответа ЦИК на данный запрос, никакую дополнительную информацию извлечь таким образом не получится.

7. *Подделка билета аутентификации.* В качестве билета аутентификации, полученного в результате выполнения протокола регистрации избирателя, выступает выпущенный ЦИК облегченный сертификат. В дальнейшем данный сертификат используется для того, чтобы участники системы электронного голосования смогли проверить ЭЦП, которые были выполнены с помощью личного ключа *eph_priv*. Для подделки облегченного сертификата необходимо знание личного ключа ЦИК, защита которого обеспечивается криптографическим токеном, на котором он хранится.

8. *Перенаправление билета аутентификации.* Облегченный сертификат, являющийся билетом аутентификации, содержит уникальный идентификатор голосования. Поэтому данный билет будет действительным только при использовании для участия в электронном голосовании, которое имеет указанный в билете идентификатор.

9. *Повторное использование билета аутентификации.* Для использования билета аутентификации (облегченного сертификата) противнику необходимо знание личного ключа *eph_priv*, так как для доказательства успешной аутентификации пользователь должен предъявить два объекта: ЭЦП, выработанную с помощью *eph_priv*, и облегченный сертификат.

Заключение

1. По результатам исследований, посвященных проблематике аутентификации избирателей в системах электронного голосования, были выявлены недостатки популярных механизмов аутентификации и обоснована необходимость использования механизма аутентификации на основе электронной цифровой подписи. Отмечены недостатки данного механизма и предложены пути их решения.

2. Предложена архитектура системы облачной электронной цифровой подписи и разработан протокол активации такой подписи, который играет ключевую роль в обеспечении безопасности личного ключа подписанта.

3. Разработан протокол регистрации избирателя, предназначенный для его аутентификации в системе электронного голосования с получением подтверждения прохождения аутентификации, которое необходимо для участия в голосовании. Предложенный протокол поддерживает возможность использования системы облачной электронной цифровой подписи для формирования аутентификационных данных.

4. Предложенный протокол, использующий облачную электронную цифровую подпись в качестве метода аутентификации избирателей, представляет собой перспективное решение, способное улучшить безопасность и надежность систем электронного голосования. Более широкое применение данного протокола будет способствовать повышению доверия к системам электронного голосования. Однако необходимы дальнейшие исследования и практические испытания для подтверждения эффективности и применимости предложенного механизма.

Список литературы / References

1. CHVote Protocol Specification. *Cryptology ePrint Archive*. Available: <https://eprint.iacr.org/2017/325> (Accessed 25 October 2023).
2. Vakarjuk J., Snetkov N., Willemson J. (2022) Russian Federal Remote E-voting Scheme of 2021 – Protocol Description and Analysis. *EICC '22: Proceedings of the 2022 European Interdisciplinary Cybersecurity Conference*. <https://doi.org/10.1145/3528580.3528586>.
3. Abu-Shanab E., Khasawneh R., Alsmadi I. (2013) Authentication Mechanisms for E-Voting. *Human-Centered System Design for Electronic Governance*. <https://doi.org/10.4018/978-1-4666-3640-8.ch006>.
4. Theuermann K., Tauber A., Lenz T. (2019) Mobile-Only Solution for Server-Based Qualified Electronic Signatures. *ICC 2019 – 2019 IEEE International Conference on Communications*. <http://dx.doi.org/10.1109/ICC.2019.8762076>.

Вклад авторов

Герасимов В. А. определил цели и задачи исследований, разработал протокол активации подписи в системе облачной подписи, сформулировал заключение и выполнил научное редактирование статьи.

Казловский М. А. сформулировал введение, описал проблематику аутентификации в системах электронного голосования, разработал протокол регистрации избирателя в системе электронного голосования с помощью системы облачной подписи и обосновал его надежность.

Authors' contribution

Herasimau V. A. determined the goals and objectives of the research, developed a signature activation protocol in the cloud signature system, formulated the conclusion and carried out scientific editing of the article.

Kazlouski M. A. formulated the introduction, described the problems of authentication in electronic voting systems, developed a voter registration protocol in the electronic voting system using a cloud signature system and substantiated its reliability.

Сведения об авторах

Герасимов В. А., сотр. Научно-исследовательского института технической защиты информации, магистрант каф. информационных технологий автоматизированных систем, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Казловский М. А., сотр. Научно-исследовательского института технической защиты информации, асп. каф. математического моделирования и анализа данных, Белорусский государственный университет

Адрес для корреспонденции

220088, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. Первомаяская, 26, корп. 2
Научно-исследовательский институт
технической защиты информации
Тел.: +375 17 294-01-71
E-mail: vger@niitzi.by
Герасимов Вячеслав Александрович

Information about the authors

Herasimau V. A., Employee of the Scientific Research Institute of Technical Protection of Information, Master's Student at the Department of Information Technologies of Automated Systems, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

Kazlouski M. A., Employee of the Scientific Research Institute of Technical Protection of Information, Postgraduate at the Department of Mathematical Modeling and Data Analysis, Belarusian State University

Address for correspondence

220088, Republic of Belarus,
Minsk, Pervomayskaya St., 26, build. 2
Scientific Research Institute
of Technical Protection of Information
Tel.: +375 17 294-01-71
E-mail: vger@niitzi.by
Herasimau Vyacheslav Alexandrovich



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-1-63-70>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 004.89

МОДЕЛЬ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Т. Ф. СТАРОВОЙТОВА¹, И. А. СТАРОВОЙТОВ²

¹Академия управления при Президенте Республики Беларусь (г. Минск, Республика Беларусь)

²РУП «Проектный институт Белгипрозем» (г. Минск, Республика Беларусь)

Поступила в редакцию 14.11.2023

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

Аннотация. Представлены особенности получения и обработки аэрокосмических изображений земной поверхности в контексте цифровизации для создания точных топографических карт и планов в цифровом и графическом форматах. Создана модель обработки данных на основе языка программирования Python и нейронных сетей, целью которой является улучшение распознавания объектов на аэрокосмических снимках. Методология разработки модели машинного обучения включает в себя определение целей и задач модели, выбор подходящего алгоритма обучения (в данном случае – нейронных сетей), сбор и подготовку набора данных, настройку модели и тестирование на тестовом наборе данных. Рассмотрены недостатки существующих алгоритмов обработки данных, представлен подход, позволяющий повысить эффективность распознавания и анализа данных.

Ключевые слова: аэрокосмические изображения, машинное обучение, нейронные сети, обработка данных, распознавание объектов, Python, Tensorflow.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Старовойтова, Т. Ф. Модель машинного обучения для обработки аэрокосмических изображений земной поверхности / Т. Ф. Старовойтова, И. А. Старовойтов // Цифровая трансформация. 2024. Т. 30, № 1. С. 63–70. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-1-63-70>.

MACHINE LEARNING MODEL FOR PROCESSING AEROSPACE IMAGES OF THE EARTH'S SURFACE

TATIANA F. STAROVOITOVA¹, ILIA A. STAROVOITOV²

¹Academy of Public Administration under the President of the Republic of Belarus (Minsk, Republic of Belarus)

²Republican Design Institute for Land Management "Belgiprozem" (Minsk, Republic of Belarus)

Submitted 14.11.2023

Abstract. The article presents the specifics of acquisition and processing aerospace images of the earth's surface in the context of their digitalization for creating accurate topographic maps and plans in digital and graphic formats. A data processing model has been developed based on the Python programming language and neural networks, the purpose of which is to improve the recognition of objects in aerospace images. The methodology for creating a machine learning model includes defining the goals and objectives of the model, selecting an appropriate learning algorithm (in this case, neural networks), collecting and preparing a data set, tuning the model, and testing on a test data set. The shortcomings of existing data processing algorithms are also discussed and an approach is presented to improve the efficiency of data processing and analysis.

Keywords: aerospace images, machine learning, neural networks, data processing, object recognition, Python, Tensorflow.

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

For citation. Starovoitova T. F., Starovoitov I. A. (2024) Machine Learning Model for Processing Aerospace Images of the Earth's Surface. *Digital Transformation*. 30 (1), 63–70. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-1-63-70> (in Russian).

Введение

Важность применения методов машинного обучения обусловлена не только огромным объемом собираемых, обрабатываемых и хранимых данных, но и тем, что технологии искусственного интеллекта являются одним из основных современных инструментов цифровой трансформации. Компании и государственные организации активно собирают и аккумулируют обширные массивы информации о своих продуктах, услугах, клиентах, сотрудниках и других аспектах деятельности. Одной из ключевых особенностей Machine Learning является способность этих систем обучения анализировать собранные данные и извлекать ценную информацию, что позволяет не только прогнозировать тенденции, оптимизировать инвестиции и улучшать стратегическое планирование, но и вносить принципиальные изменения в общую структуру экономической системы как компании, так и национальной экономики в целом.

В современном мире аэрокосмические изображения земной поверхности стали неотъемлемой частью множества сфер деятельности, начиная от картографии и заканчивая экологическим мониторингом и гражданским инжинирингом. Эволюция информационных технологий привела к взрывному росту объемов данных, получаемых с использованием аэрокосмических изображений земной поверхности. Эти изображения не только стали неотъемлемой частью многих отраслей, но и являются источником ценных информационных ресурсов для научных исследований и коммерческих проектов.

Начиная от мониторинга климата и окружающей среды, заканчивая планированием городской инфраструктуры и агрокультур, аэрокосмические изображения дают уникальную возможность получить обширное представление о нашей планете. Однако объем данных, получаемых с использованием таких изображений, стал столь огромным, что обработка и анализ этой информации оказались сложной задачей для человека. В связи с этим применение моделей машинного обучения для обработки земной поверхности имеет большое значение.

Модели машинного обучения позволяют автоматизировать процесс обработки изображений, увеличивая скорость анализа, повышая точность распознавания объектов и снижая трудозатраты. Использование их при обработке аэрокосмических изображений земной поверхности открывает новые перспективы для автоматизации этого процесса [1].

Методика проведения эксперимента

Цифровая трансформация как проявление качественных революционных изменений, заключающихся не только в отдельных цифровых преобразованиях, но и в принципиальном изменении структуры экономики, предполагает использование новых методов и технологий во всех сферах жизнедеятельности. Сегодня в мире применяются различные способы для получения топографических карт. Основным является фотограмметрический метод. Он основан на использовании фотограмметрических приборов для получения изображения местности. Полученные изображения обрабатываются с помощью фотограмметрических программ, в результате чего формируется цифровая модель местности (ЦММ). ЦММ может быть использована для создания топографических карт и планов.

Другим широко известным методом получения топографических карт является аэрофото съемка. В последнее время все большее распространение получают космические методы создания топографических карт. Космические снимки местности могут быть получены с помощью спутников дистанционного зондирования Земли. Обрабатываются они посредством специальных программ, в результате чего формируется ЦММ. ЦММ – трехмерное цифровое представление поверхности земли, которое включает в себя высотные данные. Она отличается от топографических карт и планов тем, что более детально описывает рельеф, включая высотные характеристики, что позволяет точнее моделировать местность [2].

Каждый из перечисленных методов имеет свои преимущества и недостатки. Фотограмметрический позволяет получать карты с высокой детализацией, но требует использования дорогостоящего оборудования. С помощью аэрофотосъемки можно получать карты с высокой скоростью, но она ограничена погодными условиями. Космические методы позволяют получать карты с большой площадью охвата, но имеют низкую детализацию.

В настоящее время активно развиваются новые методы получения топографических карт, основанные на использовании лазерных сканеров и других технологий. Эти методы позволяют создавать карты с высокой детализацией и точностью. Одной из таких технологий является применение моделей машинного обучения с целью улучшения процесса распознавания объектов на снимках, получаемых из различных источников.

Важный тренд – использование дистанционного зондирования с применением лазерных сканеров LiDAR (Light Detection and Ranging). LiDAR позволяет создавать высоко детализированные трехмерные модели местности, измеряя расстояния до объектов на земной поверхности с помощью лазерных импульсов. Это идеальный инструмент для создания точных цифровых моделей рельефа, что особенно полезно для инженерных и геологических приложений. Еще одной инновацией является использование методов машинного обучения и искусственного интеллекта в обработке и анализе данных. Эти методы позволяют автоматизировать процессы классификации и распознавания объектов на аэроснимках и космических изображениях, увеличивая скорость и точность картографических работ. Также технологии дронов становятся популярными в создании топографических карт. Беспилотные летательные аппараты могут выполнять аэрофотосъемку и LiDAR-сканирование с низкой стоимостью и возможностью летать в различных условиях. Выбор метода зависит от конкретных задач, доступных ресурсов и требований к точности и детализации данных. В некоторых случаях комбинированный подход, включая использование нескольких методов, может быть наиболее эффективным способом получения полной и точной топографической информации [3].

Сегодня одним из самых перспективных языков программирования для написания высокоуровневого кода моделей машинного обучения для фрагментации и дешифровки аэрокосмических изображений земной поверхности является Python. Наиболее популярная библиотека машинного обучения для Python – Tensorflow, которая предоставляет удобные инструменты для реализации алгоритмов машинного обучения, включая как обучение на учителе, так и обучение без учителя. Данная библиотека поддерживает глубокое обучение и является одним из самых популярных решений для реализации нейронных сетей.

Под моделью машинного обучения будем понимать программный алгоритм, который «обучен» распознаванию определенных типов закономерностей. Предполагается обучение модели на основе набора данных, предоставляя ей возможность найти закономерности, которые она сможет использовать для анализа, обучения и прогнозирования. Завершив обучение модели, можно будет применить ее для принятия решений и выполнения прогнозов по данным, ранее не встречавшимся.

Разработка модели машинного обучения с использованием языка программирования Python версии 3.10 проводилась на базе РУП «Проектный институт Белгипрозем». Версия 3.10 использовалась с целью улучшения процесса распознавания объектов на изображениях. Входящими данными являлись снимки, получаемые с источников космических систем дистанционного зондирования Земли. При разработке модели для улучшения процесса распознавания объектов на изображениях выполнялись следующие этапы.

1. Определялось, для каких целей будет использоваться модель и какие задачи она должна решать. В данном случае цель – улучшение точности распознавания объектов на изображениях, для расчета которой применяется итеративный подход проверки работы модели. Для решения этой задачи модель должна научиться различать разные объекты, представленные на изображениях.

2. Выбирался алгоритм обучения, который будет применяться для обучения модели. В данном случае можно использовать различные типы моделей машинного обучения, включая:

- линейную регрессию;
- классификаторы на основе деревьев принятия решений;
- метод опорных векторов;
- нейронные сети.

3. Выбирался алгоритм обучения, зависящий от конкретных задач, которые должна решать модель. В данном случае для повышения точности распознавания объектов на изображениях можно использовать нейронную сеть.

4. Осуществлялись сбор и подготовка набора данных, на котором будет обучаться модель. Набор данных должен содержать изображения распознаваемых объектов. Изображения должны быть представлены в формате, который может быть обработан выбранным алгоритмом обучения. В данном случае набор данных может быть собран из различных источников, включая:

- сайты, посвященные распознаванию объектов;
- общедоступные наборы данных;
- собственные изображения.

Перед обучением модели набор данных необходимо подготовить, чтобы он соответствовал требованиям выбранного алгоритма обучения. Рекомендуется выполнить следующие действия:

- нормализацию данных;
- удаление шумов;
- добавление изображений, отсутствующих в наборе данных.

Необходимость этих действий не диктуется алгоритмом обучения, однако их выполнение позволит улучшить итоговый результат, который будет выдавать модель машинного обучения.

5. Проводилась настройка модели для достижения наилучших результатов. Настройка модели может включать в себя следующие действия:

- выбор параметров алгоритма обучения;
- подбор архитектуры нейронной сети;
- настройка гиперпараметров.

Настройка модели может выполняться вручную или с помощью автоматической оптимизации.

6. Тестировалась модель на тестовом наборе данных, чтобы оценить ее точность. Тестовый набор данных должен содержать изображения, которые не использовались для обучения модели.

Просмотр результатов работы модели проводился в среде геоинформационной системы QGIS, пример использования которой представлен на рис. 1.

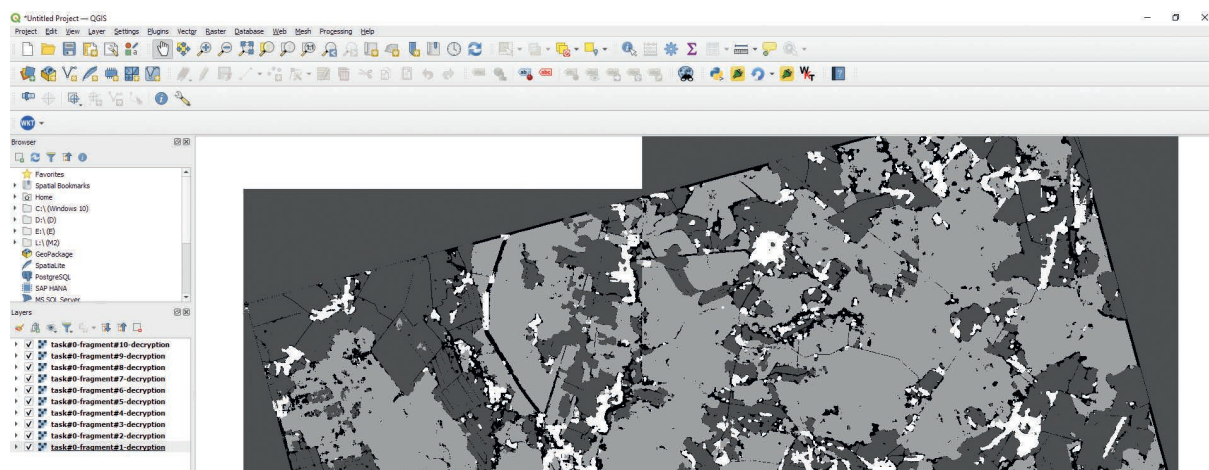


Рис. 1. Интерфейс приложения QGIS для просмотра результатов, полученных в результате работы модели машинного обучения (*собственная разработка авторов*)

Fig. 1. QGIS application interface for viewing results obtained from a machine learning model (*authors' own development*)

Если точность модели на тестовом наборе данных не удовлетворяет требованиям, необходимо повторить этапы проектирования модели или изменить набор данных. Процесс работы алгоритма представлен на рис. 2.

Существующие алгоритмы обработки данных содержат такие недостатки, как отсутствие гарантий надежности выполнения, низкая скорость обработки, отсутствие асинхронного метода дешифрирования. Эти недостатки были учтены в процессе разработки, что позволило увеличить эффективность обработки и анализа данных.

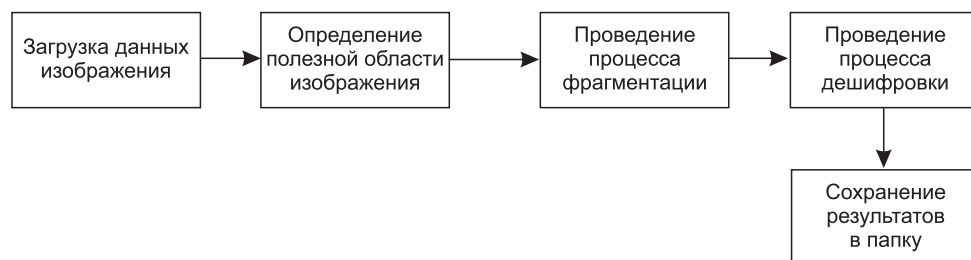


Рис. 2. Процесс обработки изображений, загружаемых в модель машинного обучения (*собственная разработка авторов*)
Fig. 2. The process of processing images fed into a machine learning model (*authors' own development*)

Для запуска работы модели машинного обучения необходимо открыть консольное окно операционной системы Windows, указав входные параметры, такие как:

- путь к файлу в файловой системе Windows в формате TXT, содержащий в себе набор путей к исходным файлам, используемым для проведения процесса дешифровки;
- путь к выходной папке в файловой системе Windows для сохранения результатов процесса дешифрования;
- тип файлов, сохраняемых в выходной папке.

Процесс дешифрования представляет собой последовательную обработку элементов набора данных, цель которого – выявление целевых объектов на загружаемых изображениях. В первую очередь необходимо создать функцию, ставящую задачу на выполнение, содержащую набор файлов для обработки и возвращающую ее контур, список геометрий и информацию о файлах. Далее следует разработать функцию фрагментации задания на уменьшенные элементы, что позволит оптимизировать процесс обработки и уменьшить итоговую сложность и загруженность модели машинного обучения. Результатом работы данной функции будет являться список, содержащий информацию о каждом фрагменте, включая границы полезного фрагмента, границы выходного фрагмента и исходные файлы. После получения списка необходимо провести итерацию по каждому элементу для загрузки его в функцию получения результатов дешифрования. В дальнейшем все полученные результаты перестраиваются в соответствии с параметрами задачи и сохраняются в указанную пользователем директорию в операционной системе.

Перед запуском процесса дешифрования следует указать параметры, необходимые для корректной работы обработчика изображений. После указания нужных параметров и запуска процесса открывается консольное окно с отображением полосы прогресса выполнения процедуры. При завершении задачи дешифрования в выходной папке появляются файлы, являющиеся результатом работы кода по фрагментации и дешифрованию файлов, указанных в исходном наборе. Использование консольного окна для запуска работы модели машинного обучения на операционной системе Windows является удобным и эффективным способом управления процессом дешифровки, предоставляя возможность ручного управления задаваемыми параметрами.

Отсутствие интерфейса повышает необходимый порог знаний, предъявляемый инженеру для работы с моделью машинного обучения, однако позволяет упростить процесс написания исходного кода решения, избегая накладных расходов при проектировании и конструировании проекта. Процесс дешифрования, представляемый в виде совокупности методов фрагментации и обработки данных моделью машинного обучения, может выдавать некорректный результат, связанный с неверным распознаванием входящих изображений. Это может быть вызвано различными причинами, включая:

- некачественные изображения, которые могут содержать шумы, искажения или другие дефекты, затрудняющие их распознавание моделью машинного обучения;
- недостаточный набор данных. Модель машинного обучения обучается на наборе данных изображений, содержащих примеры различных объектов, которые она должна распознавать. Если набор данных недостаточно большой или не отражает разнообразие объектов, которые могут быть представлены на изображениях, модель может давать некорректные результаты;
- некорректно подобранная модель машинного обучения. Для дешифрования изображений могут использоваться различные модели машинного обучения, каждая из которых имеет свои преимущества и недостатки. Если модель машинного обучения некорректно подобрана для конкретных задач, она может давать некорректные результаты;

– некорректные параметры модели машинного обучения. Параметры модели машинного обучения могут быть отрегулированы для повышения ее точности. Однако, если параметры некорректны, это может привести к некорректным результатам.

Чтобы уменьшить вероятность получения некорректного результата дешифрирования, необходимо учитывать следующие факторы:

- использовать качественные изображения, которые должны быть четкими, хорошо освещенными и не содержать шумов или других дефектов;
- собрать достаточно большой и разнообразный набор данных, содержащий примеры различных объектов, которые могут быть представлены на изображениях;
- правильно подобрать модель машинного обучения, которая должна быть подходящей для конкретных задач;
- тщательно настроить параметры модели машинного обучения, отрегулированные для повышения ее точности.

При соблюдении этих факторов можно снизить вероятность получения некорректного результата дешифрирования.

Для выполнения процесса фрагментации необходимо инициализировать набор параметров, используемый в дальнейшем для определения границ изображения, формата наложения создаваемых фрагментов, количества и расположения приоритетных областей и т. д. После задания всех необходимых параметров нужно получить информацию о расположении основного файла изображения в формате tif для дальнейшего извлечения информации о преобразовании снимка, а также параметров разрешения изображения и его положения в пространстве. Далее следует провести итеративный переход по каждому изображению с целью расчета границ и площади создаваемого фрагмента, после чего провести внутреннюю итерацию по рядам, начиная с верхней границы изображения с шагом, установленным ранее. В результате проведенной итерации на текущем шаге формируется четырехугольник, который в дальнейшем необходимо разделить на некоторое количество фрагментов. Для этого на основе данной фигуры создается полигон с проверкой на наличие ошибок, после чего происходит процесс итерации по оси абсцисс для получения итоговых фрагментов. При этом к фрагменту осуществляется добавление области перекрытия, существующей для обеспечения полноценного захвата частей изображения несколькими фрагментами, что обеспечивает лучший результат при обучении модели. Далее происходит формирование полигона на основе полученных координат объекта сетки, который сохраняется в указанное место на машине пользователя. Сам полигон дополнительно проходит проверку на наличие пересечения с приоритетной областью, и, в случае нахождения указанного совпадения, добавляется в список координат первым. Функция после выполнения возвращает список координат сохраненных объектов для их дальнейшего использования в процессе формирования набора данных.

В результате обработки и проведения процесса дешифрирования с применением моделей машинного обучения был получен набор файлов, представляющий собой совокупность слоев на изображении. Вид обработанного космического изображения и изображения аэрофотосъемки, открытых в приложении QGIS, показан на рис. 3 и 4 соответственно.

Результатом работы предлагаемой модели машинного обучения является изображение, представляющее собой обработанный снимок соответствующего типа съемки с выделенными на нем серыми секторами. Это позволяет в дальнейшем корректно идентифицировать соответствующие зоны на снимке и использовать данную информацию как для улучшения отклика рассматриваемых моделей, так и для автоматизации процесса разделения карты на необходимые участки. Полученные результаты находят применение в практической деятельности предприятий Республики Беларусь в области землеустройства.

Заключение

1. Машинное обучение может использоваться для выявления потребностей клиентов и разработки новых продуктов и услуг, которые удовлетворяют эти потребности; для персонализации обслуживания и предоставления более качественного обслуживания; для автоматизации задач, оптимизации процессов и выявления возможностей для сокращения затрат. Разработка проектов, основанных на моделях машинного обучения, позволит создавать более точные карты, эффективно контролировать состояние окружающей среды, прогнозировать природные изменения, обеспечивать безопасность общества и проч.

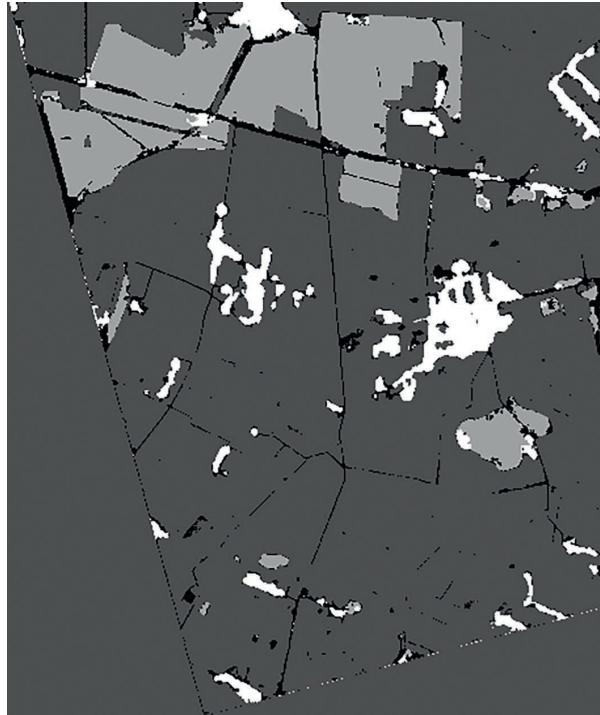


Рис. 3. Обработанное космическое изображение
Fig. 3. Processed space image

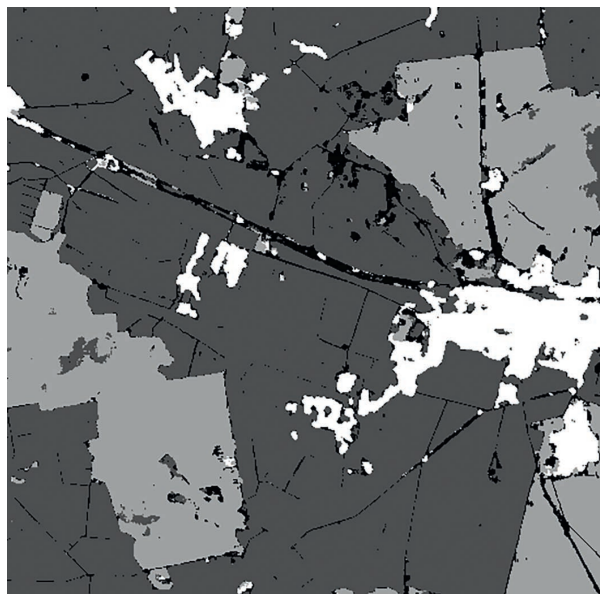


Рис. 4. Обработанное изображение аэрофотосъемки
Fig. 4. Processed aerial image

2. Разработанная модель машинного обучения для обработки аэрокосмических изображений земной поверхности отличается наличием инструментов создания задач и их асинхронного выполнения, позволяет задавать параметры для проведения процесса дешифровки как с начального элемента загружаемого датасета, так и с установленной контрольной точки, задаваемой разработчиком при запуске процесса. Модель имеет усовершенствованный алгоритм фрагментации загружаемых изображений для улучшения скорости и точности процесса обучения, использует в реализации алгоритмов обучения современные инструменты библиотеки Tensorflow языка Python, имеет усовершенствованную архитектуру файлов, позволяющую интегрировать основной фрагмент кода модели машинного обучения в различные геоинформационные системы для визуализации получаемых результатов.

3. Использование модели машинного обучения при обработке результатов кадастровых работ посредством нейронных сетей распознавания объектов на местности позволит, по сравнению с аналогами, основанными на иных методах обучения, повысить точность и скорость автоматизации процессов определения и классификации зданий, сооружений и иных элементов, расположенных на картах. Модель обладает возможностью последовательной фрагментации, дешифрирования аэрокосмических изображений и распознавания на них объектов определенных классов. Нейронные сети, используемые в модели, обеспечивают повышенную производительность в распознавании паттернов и обработке сложных данных, в том числе в классификации изображений.

Список литературы

1. Коэльо, Л. П. Построение систем машинного обучения на языке Python / Л. П. Коэльо, В. Ричарт, пер. с англ. М.: ДМК Пресс, 2016.
2. How Does Lidar Work? [Электронный ресурс]. Режим доступа: velodynelidar.com/what-is-lidar/. Дата доступа: 20.09.2023.
3. Обзор самых популярных алгоритмов машинного обучения [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://tproger.ru/translations/top-machine-learning-algorithms>. Дата доступа: 20.09.2023.

References

1. Coelho L. P., Richart V. (2016) *Building Machine Learning Systems in Python*. Moscow, DMK Press Publ.
2. *How Does Lidar Work?* Available: velodynelidar.com/what-is-lidar/ (Accessed 20 September 2023).
3. *Review of the Most Popular Machine Learning Algorithms*. Available: <https://tproger.ru/translations/top-machine-learning-algorithms> (Accessed 20 September 2023).

Вклад авторов / Authors' contribution

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

Сведения об авторах

Старовойтова Т. Ф., канд. экон. наук, доц., доц. Академии управления при Президенте Республики Беларусь

Старовойтов И. А., техник отдела геоинформационных систем, РУП «Проектный институт Белгипрозем»

Адрес для корреспонденции

220019, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. Скрипникова, 35–92
Тел.: +375 29 757-59-11
E-mail: tan.star00@gmail.com
Старовойтова Татьяна Феликсовна

Information about the authors

Starovoitova T. F., Cand. of Sci., Associate Professor, Associate Professor at the Academy of Public Administration under the President of the Republic of Belarus

Starovoitov I. A., Technician at the Geographic Information Systems Department, Republican Design Institute for Land Management “Belgiprozem”

Address for correspondence

220019, Republic of Belarus,
Minsk, Skripnikova St., 35–92
Tel.: +375 29 757-59-11
E-mail: tan.star00@gmail.com
Starovoitova Tatiana Feliksovna



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-1-71-80>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 004.032.26

РАЗРАБОТКА МЕДИЦИНСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С ХРАНИЛИЩЕМ ДАННЫХ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМ АНАЛИЗОМ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Д. А. ЯКИМОВ¹, Н. В. ВЫГОВСКАЯ², И. В. ДРОЗДОВ³

¹Могилевская областная клиническая больница (г. Могилев, Республика Беларусь)

²Белорусско-Российский университет (г. Могилев, Республика Беларусь)

³ООО «Финвин Технолоджис» (г. Могилев, Республика Беларусь)

Поступила в редакцию 08.11.2023

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

Аннотация. Обоснована актуальность создания медицинских информационных систем для отоларингологии с искусственным интеллектом, описан процесс разработки эффективного хранилища медицинских данных с учетом их разнородности. Задача хранения медицинских данных осложняется юридической значимостью, большим объемом, неоднородной и сложной структурой информации. Разработан тестовый вариант автоматизированного рабочего места медицинских информационных систем для хранения и обработки результатов медицинских исследований. В процессе создания новой медицинской информационной системы решены задачи первого этапа: разработаны структура и организация хранилища медицинских данных; реализованы процедуры загрузки, хранения и просмотра результатов медицинских исследований в формате DICOM, идентификации каждого пациента для предоставления всех связанных с ним результатов исследований; разработаны и реализованы критерии разбиения изображений по категориям (ТРГ, РКТ). Новая система обеспечивает поддержку различных видов поиска и доступ к серверу с любого компьютера в корпоративной сети оториноларингологического отделения. Подготовлены условия для реализации второго этапа – интеграция автоматизированного рабочего места медицинских информационных систем в существующий технологический процесс в медицинском учреждении и обнаружение патологии с помощью искусственной нейронной сети.

Ключевые слова: хранилище медицинских данных, результаты медицинских исследований, DICOM-файлы, PACS-система, нейронная сеть, искусственный интеллект.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Якимов, Д. А. Разработка медицинской информационной системы с хранилищем данных и интеллектуальным анализом изображений / Д. А. Якимов, Н. В. Выговская, И. В. Дроздов // Цифровая трансформация. 2024. Т. 30, № 1. С. 71–80. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-1-71-80>.

DEVELOPMENT OF A MEDICAL INFORMATION SYSTEM WITH DATA STORAGE AND INTELLIGENT IMAGE ANALYSIS

DMITRIY A. YAKIMOV¹, NATALLIA V. VYGOVSKAYA², IGNAT V. DROZDOV³

¹*Mogilev Regional Clinical Hospital (Mogilev, Republic of Belarus)*

²*Belarusian-Russian University (Mogilev, Republic of Belarus)*

³*LLC "Finwin Technologies" (Mogilev, Republic of Belarus)*

Submitted 08.11.2023

Abstract. The relevance of the development of medical information systems for otolaryngology with artificial intelligence is substantiated, the process of developing an effective storage of medical data, taking into account their heterogeneity, is described. The task of storing medical data is complicated by the legal significance, large volume, heterogeneous and complex structure of information. A test version of an automated workstation for medical information systems for storing and processing medical research results has been developed. In the process of creating a new medical information system, the tasks of the first stage were solved: the structure and organization of the medical data warehouse were developed; procedures have been implemented for downloading, storing and viewing the results of medical research in DICOM format, identifying each patient to provide all related research results; criteria for dividing images into categories (TRG, RCT) were developed and implemented. The new system provides support for various types of search and access to the server from any computer in the corporate network of the otolaryngology department. Conditions have been prepared for the implementation of the second stage – integration of an automated workstation of medical information systems into the existing technological process in a medical institution and detection of pathology using an artificial neural network.

Keywords: medical data storage, medical research results, DICOM files, PACS system, neural network, artificial intelligence.

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

For citation. Yakimov D. A., Vygovskaya N. V., Drozdov I. V. (2024) Development of a Medical Information System with Data Storage and Intelligent Image Analysis. *Digital Transformation*. 30 (1), 71–80. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-1-71-80> (in Russian).

Введение

Национальная медицинская ассоциация оториноларингологов на своем сайте [1] опубликовала статью [2], в которой отмечено, что методы искусственного интеллекта (ИИ) для диагностики лор-заболеваний, несмотря на определенное скептическое отношение к ним, имеют большой потенциал. В разработке качественных медицинских информационных систем (МИС) ключевое место занимает создание эффективного хранилища медицинских данных, которое отвечает требованиям оптимальности, доступности, мобильности. Оно должно обеспечивать:

– адаптивную универсальность МИС для различных аппаратных и программных сред и платформ;

– многопользовательский режим доступа к данным;

– сохранность конфиденциальных данных о пациенте;

– возможность одновременного извлечения и пополнения данных от различных пользователей;

– разграничение возможностей доступа;

– защиту от несанкционированного доступа.

Следует учитывать возможные отличия формата полученных медицинских данных от разных комплексов и аппаратов, необходимость конвертирования и сжатия их для длительного хранения и передачи по сети. Использование медицинских данных в электронном виде поможет врачу быстро и оперативно получить необходимую информацию о пациенте, ускорит процесс принятия решения для постановки диагноза и в выборе эффективного метода лечения [3]. Подготовленная база медицинских изображений станет основой для обучения нейронной сети, которая будет использована для диагностики патологии лор-заболеваний.

Медицинская информация весьма специфична, и ее основной особенностью является разнородность данных, полученных в ходе исследований пациентов. Другие особенности медицинских данных – юридическая значимость, большой объем информации, неоднородная или сложная структура. Для работы с результатами медицинских исследований (УЗИ, МРТ, КТ и т. д.)

был создан промышленный медицинский стандарт DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) [4]. Это отраслевой стандарт создания, хранения, передачи и визуализации медицинских изображений и документов обследованных пациентов. Для передачи информации от медицинского оборудования в PACS-систему (Picture Archiving and Communication System) [5] и связи между PACS-системами используется протокол TCP/IP.

Искусственный интеллект в медицинских информационных системах

Применение систем ИИ в медицине при диагностике заболеваний повышает качество и достоверность диагнозов, сокращает время на подготовку заключений по результатам исследования. ИИ в медицинских информационных системах уже используется в России и в некоторых других странах, что можно увидеть по целому ряду сообщений и публикаций на эту тему.

Электронный сервис «КТ Легких» от компании «СберМедИИ», разработанный в Российской Федерации и использующий ИИ, позволяет выделить минимальные узелковые новообразования в легочной ткани [6]. Решения «СберМедИИ» охватывают также другие актуальные области медицинской визуализации. В сервисе «КТ Инсульт» ИИ размечает КТ-снимок головы, выделяя зоны нарушенного кровообращения при остром инсульте. В сервисе «Маммография» ИИ делает оценку новообразований в молочной железе по международной шкале BI-RADS с определением контуров очага. Автоматическая система на основе ИИ для выявления туберкулеза легких разработана учеными из Нидерландов и Китая. Методы и результаты исследований представлены в журнале *European Radiology* [7].

Группа исследователей из США опубликовала в *Nature Communications* результаты разработки алгоритма машинного обучения. Он способен выявлять признаки COVID-19 по КТ-снимкам грудной клетки. Оценка эффективности системы проводилась в четырех независимых учреждениях Китая, Италии и Японии [8]. Новые методы искусственного интеллекта, такие как свёрточные нейронные сети (CNN), позволяют эффективно выполнять задачи лечения инсульта, включая обнаружение инфаркта и окклюзии крупных сосудов, раннюю оценку результатов компьютерной томографии по программе Alberta Stroke Program [9].

Компьютеризированная диагностика патологии молочной железы с помощью глубокого обучения на цифровой маммограмме помогает клиницистам классифицировать поражения как доброкачественные, так и злокачественные [10]. Автоматизированная классификация поражений кожи с использованием изображений является сложной задачей. Глубокие свёрточные нейронные сети создают потенциал для решения общих и сильно варьирующихся сложных задач из-за мелкозернистой изменчивости внешнего вида поражений кожи. В [11] приведена классификация поражений кожи с применением единой CNN, обученной сквозным образом непосредственно на изображениях, используя в качестве входных данных только пиксели и метки заболеваний.

Недостатки действующих медицинских информационных систем базового уровня

Большинство производителей медицинского оборудования поставляют вместе со своей продукцией также PACS и рабочие станции для обработки исследований врачами-диагностами. Но возможности подобных решений ограничены, поскольку производители оборудования, как правило, не ставят перед собой задачу построения глобальных систем хранения исследований. И, кроме того, желая защитить собственные интересы, «привязывают» потребителей к своим рабочим станциям, используя при сохранении обработанного исследования так называемые проприетарные теги DICOM, которые не позволяют нормально работать с этими исследованиями с рабочих станций других производителей. Таким образом, можно выделить следующие недостатки существующих МИС региональных учреждений здравоохранения:

- большие затраты материальных ресурсов на поддержку системы;
- невозможность разделения хранилища и программы для просмотра результатов медицинских исследований;
- требуется постоянная установка дополнительного программного обеспечения (ПО);
- риск потери результатов медицинских исследований;
- отсутствие системы автоматической диагностики заболеваний.

Чтобы устранить недостатки существующих МИС, было принято решение разработать новую систему, учитывающую вышеприведенные требования.

Цели и задачи разработки новой медицинской информационной системы

Ранее в [12] была предложена методика использования возможности широкого включения исследовательских групп в решение проблемы переноса информации при диагностировании лор-заболеваний по результатам рентгенологических изображений для накопления базы рентгеновских изображений. Для реализации указанной методики была поставлена задача по разработке новой МИС для оториноларингологического отделения с системой автоматической диагностики на основе использования ИИ. Эта МИС станет ядром, обеспечивающим общий цикл подготовки и накопления данных для анализа изображений. В то же время она поможет врачу в лечении пациентов и постановке диагноза, будет эффективным помощником врачу в рутинном анализе информации о пациенте в динамике развития заболевания. Полный цикл обработки медицинских данных и место врача-оториноларинголога, использующего разрабатываемую МИС, показано на рис. 1.

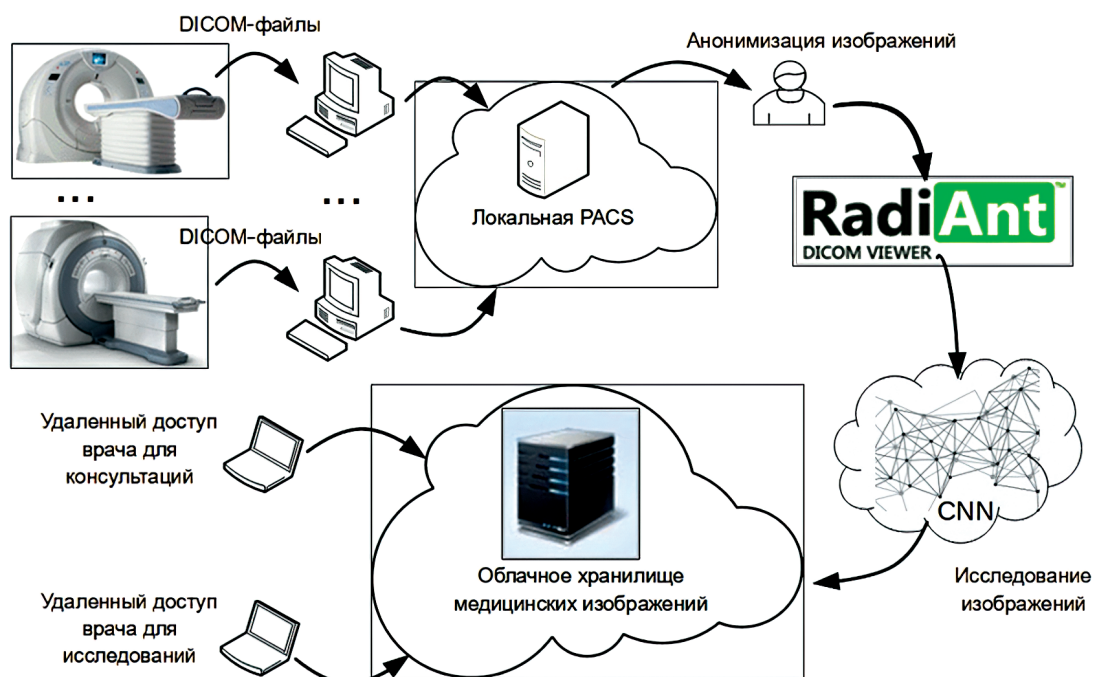


Рис. 1. Место медицинских информационных систем в информационно-коммуникационной структуре обмена медицинскими изображениями
Fig. 1. The place of medical information systems in the information and communication structure of the exchange of medical images

В процессе разработки новой МИС на первом этапе предстояло решить следующие задачи:

- разработать структуру и организацию хранилища медицинских данных [13];
- реализовать процедуры загрузки и хранения DICOM-файлов в хранилище;
- реализовать процедуры просмотра результатов медицинских исследований в формате DICOM;
- разработать процедуры идентификации каждого пациента для предоставления всех связанных с ним результатов исследований;
- разработать критерии разбиения изображений по категориям (ТРГ, РКТ);
- обеспечить поддержку различных видов поиска (ФИО, id, дата рождения и т. д.);
- разработать процедуры для режимов добавления ролей, разграничения доступа к определенным разделам, логирования доступа к системе через админ-панель, отслеживания несанкционированного доступа к системе;
- обеспечить доступ к серверу с любого компьютера в корпоративной сети оториноларингологического отделения (в среде архитектуры клиент-сервер).

По окончании решения задач первого этапа предстоит переход ко второму этапу, на котором необходимо решать задачи внедрения ИИ в работу МИС на основе методики [12] для более глубокого анализа данных о пациентах и обработки возможных нештатных ситуаций. Как правило,

в региональных учреждениях здравоохранения используется ПО, которое представлено в виде хранилища на локальных машинах, размещенных в разных отделениях больницы, что делает неудобным обмен информацией между врачами. Система является неделимой, не предполагает использования ее отдельных компонентов и обладает рядом недостатков, которые были описаны выше. В процессе постановки задач по разработке новой МИС проведен анализ перечисленных недостатков с целью наиболее полного их устранения.

Первый этап разработки медицинской информационной системы

В настоящее время разработан тестовый вариант автоматизированного рабочего места (АРМ) МИС для хранения и обработки результатов медицинских исследований. Подготовлено руководство, адресованное пользователям АРМ МИС, в котором представлено полное описание функциональных возможностей и приемов работы АРМ. В АРМ МИС реализованы следующие основные задачи:

- загрузка и хранение DICOM-файлов;
- просмотр результатов исследований в формате DICOM;
- идентификация каждого пациента для предоставления всех связанных с ним результатов исследований;
- обеспечение доступа к серверу с любого компьютера в корпоративной сети.

Система представляет собой веб-платформу с клиент-серверной архитектурой, работает с использованием технологий PostgreSQL, Python [14], Django REST Framework [15], Docker, Docker Compose [16], Vue.js. В качестве фреймворка выбран Vue.js и библиотеки для него – Vuex и Vue Router. Разработанная система состоит из четырех модулей (рис. 2).

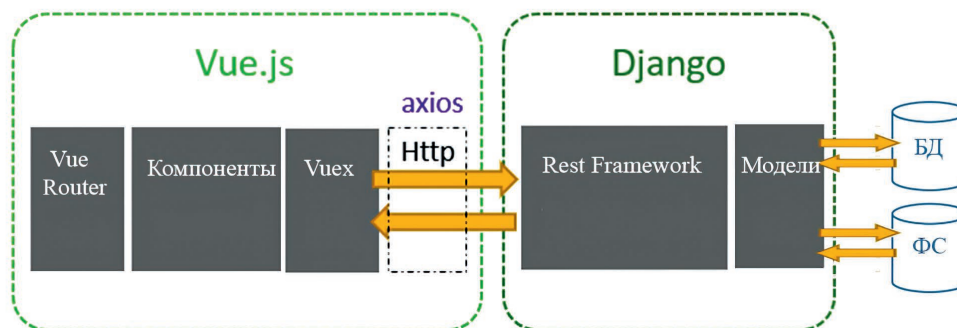


Рис. 2. Схема взаимодействия между модулями медицинской информационной системы
Fig. 2. The scheme of interaction between the medical information system modules

Назначение модулей МИС, представленных на схеме рис. 2:

Vue.js – фреймворк, на котором написано клиентское приложение. Для маршрутизации дополнительно была применена библиотека Vue Router. Маршрутизация относится к управлению состоянием клиентского приложения и используется для определения того, какое представление должно быть показано пользователю в зависимости от URL-адреса или действий пользователя. В данном случае библиотека Vue Router отвечает за управление маршрутизацией в приложении Vue.js, обеспечивая плавное переключение между различными представлениями в зависимости от URL-адреса. Для хранения состояния использована библиотека Vuex, каждый компонент представляет собой HTML-страницу. Общение с сервером происходит с помощью HTTP-запросов. Для осуществления этого взаимодействия применяется библиотека Axios;

Django – фреймворк, на котором написано серверное приложение. Модели описывают каждую сущность в базе данных и с помощью ORM взаимодействуют с ней;

БД – база данных, которая хранит информацию о пациентах и метаинформацию об исследованиях в файловой системе;

ФС – файловая система, которая хранит DICOM-файлы, в базе данных содержится путь к каждому исследованию в файловой системе.

Клиентское приложение работает на любой операционной системе, на которой установлен современный браузер, поддерживающий JavaScript. Для пользования системой у врача-диагноста должна быть учетная запись, созданная системным администратором. При входе в систему

открывается окно авторизации, где требуется ввести имя пользователя и пароль. Выполняется идентификация пользователя, и при ошибке авторизации выдается сообщение о запрете доступа к системе. При успешном входе врач получает доступ к данным о пациентах: идентификационный номер, фамилию, имя, отчество, дату рождения и др. При переходе на вкладку «Добавить пациента» откроется окно, где врач должен ввести данные о новом пациенте. Если данные введены некорректно, то выведутся соответствующие сообщения. При выборе «Добавить исследование» появится окно, куда нужно загрузить изображение формата DICOM. При перетаскивании изображения в область загрузки оно выведется на экран. На рис. 3 представлены изображения в формате DICOM, полученные в результате исследования лор-органов пациентов в разном масштабе.

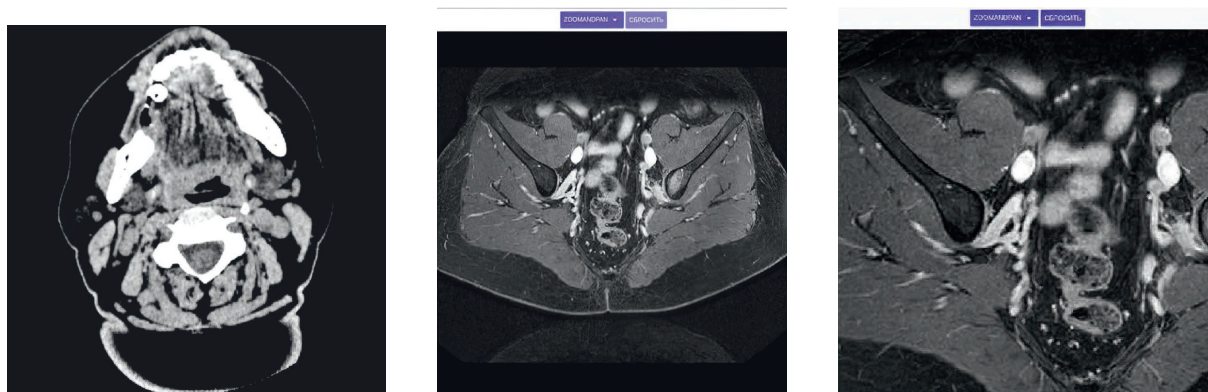


Рис. 3. Добавляемое изображение формата DICOM
Fig. 3. DICOM format image to be added

При выборе «Исследования» выведется окно со списком всех существующих изображений проведенных исследований, принадлежащих конкретному пациенту (рис. 4). Для быстрого поиска врач может производить фильтрацию по полу, ФИО и идентификационному номеру пациента. При удалении данных о пациенте всплывает предупреждающее окно, что поможет защитить данные от случайного удаления.

Список исследований для пациента: Иванов Иван Иванович		ЗАКРЫТЬ
Идентификатор исследования		
dicom_aa7e9f41-99d	ПРОСМОТРЕТЬ	УДАЛИТЬ
dicom_1350b723-cd7	ПРОСМОТРЕТЬ	УДАЛИТЬ
dicom_b704dd49-e35	ПРОСМОТРЕТЬ	УДАЛИТЬ
dicom_8553ffa0-f5c	ПРОСМОТРЕТЬ	УДАЛИТЬ

Рис. 4. Список изображений, принадлежащих пациенту
Fig. 4. List of images belonging to the patient

В результате проведенной работы подготовлен практический вариант АРМ МИС для хранения и обработки медицинских данных о пациентах с учетом их разнородности и специфики графического формата DICOM, что потребовало использования специальной библиотеки Pydicom. С учетом того, что разработанная информационная система является веб-платформой, т. е. приложением с клиент-серверной архитектурой, возникла необходимость разработать клиентское и серверное программное обеспечение для рассматриваемого приложения. Серверная часть при-

ложения (Backend) разработана для использования на UNIX-системе, поскольку в основном разработка на языке Python ведется именно на таких системах. Интерфейсная или клиентская часть приложения (Frontend) предназначена для работы на Windows. Разворачивание такой достаточно сложной архитектуры системы выполнено с применением технологии Docker Compose, которая используется для одновременного управления несколькими контейнерами, входящими в состав приложения. Этот инструмент предлагает те же возможности, что и Docker, но позволяет работать с более сложными приложениями. Структура Docker Compose представлена на рис. 5.

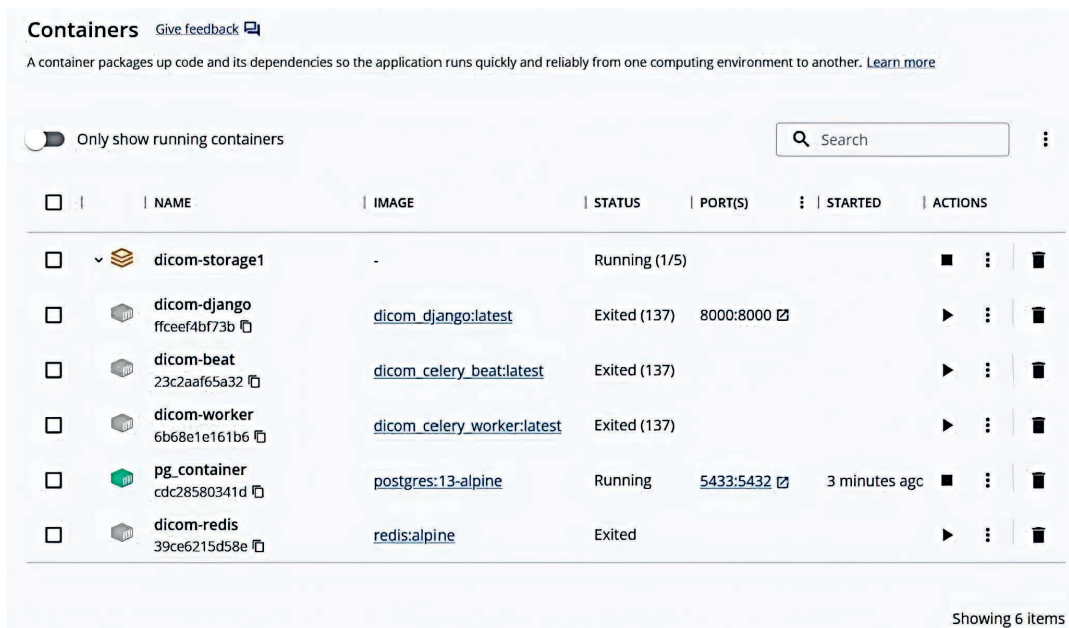


Рис. 5. Контейнеры в Docker Compose
Fig. 5. Containers in Docker Compose

АРМ МИС с хранилищем медицинских данных об исследованиях пациентов, представленных в DICOM-формате, в настоящее время в тестовом режиме используется в региональном учреждении здравоохранения. Разработка АРМ МИС с автоматизированным централизованным хранилищем медицинских данных является первым этапом в реализации методики [12] и предоставляет возможность для перехода ко второму этапу разработки системы автоматической диагностики на основе использования ИИ.

Второй этап разработки медицинской информационной системы

В настоящее время выполнены все перечисленные выше задачи первого этапа разработки МИС для оториноларингологического отделения. Ведется работа по накоплению медицинских данных о пациентах до объемов, необходимых для обучения и последующего тестирования нейронной сети. Параллельно после завершения тестовых и опытных испытаний АРМ МИС для хранения и обработки результатов медицинских исследований необходимо решать новые задачи по интеграции МИС в существующий технологический процесс в медицинском учреждении, анонимизации исследований пациентов для передачи на обучение искусственной нейронной сети и, собственно, автоматической диагностики патологии лор-заболеваний.

На практике возможна ситуация, когда какие-то данные вводятся с ошибкой: ошибки написания фамилии, индивидуального номера. В программе необходимо предусмотреть возможность исправления выявленных неточностей. Также ошибка может быть обнаружена только при повторном обращении. Соответственно поиск по базе не может быть ограничен одним параметром конкретного пациента. Возможна ситуация изменения личных данных: смена фамилии, имени, гражданства. И в этом случае необходимо предусмотреть возможность прикрепления новых рентгеновских изображений к уже существующей базе данных конкретного пациента.

Отдельно следует отметить, что есть вероятность поступления пациентов, у которых по объективным причинам невозможно собрать весь комплекс данных для заполнения предложенной фор-

мы. Бригада скорой помощи может доставить пациента в бессознательном состоянии. В лечебном учреждении такой пациент некоторое время будет иметь только номер медицинской карты как единственную описательную характеристику. В последующем паспортные данные могут быть установлены. Соответственно в программе должна быть предусмотрена возможность объединения новой информации с базой уже имеющихся данных о пациенте, если ранее с его стороны были обращения в медицинское учреждение. Результатом рентгенологического исследования будет не только само изображение, но и заключение врача-рентгенолога. Это заключение должно быть прикреплено к вносимому в базу изображению. Может сложиться такая ситуация, что места для хранения изображений будет недостаточно. Необходимо иметь возможность, если требуется, удалять изображения из хранилища, но сохранять текстовое заключение. Теоретически для использования в научных и исследовательских целях должна быть предусмотрена возможность поиска изображений по текстовому описанию из заключения врача-рентгенолога. Также следует отметить, что некоторые пациенты приносят изображения, сделанные в других учреждениях и записанные на диске. В МИС должна быть реализована возможность внесения рентгеновских изображений не только из учреждения, где эти изображения создаются. Для анализа всех представленных выше внештатных ситуаций в помощь врачу также может быть использован ИИ.

Заключение

1. Полученные результаты обзора и анализа существующих медицинских систем с искусственным интеллектом для распознавания медицинских изображений подтвердили актуальность разработки медицинских информационных систем для оториноларингологии с искусственным интеллектом. Идет работа по накоплению данных и подготовке датасетов для обучения нейронной сети с учетом наличия трех групп лор-органов.

2. Актуальность задачи накопления и широкого применения исследований в формате DICOM была рассмотрена в [12]. В ходе исследований по первому этапу разработки медицинских информационных систем с искусственным интеллектом в полном объеме выполнены следующие задачи:

- разработаны структура и организация хранилища медицинских данных;
- реализованы процедуры загрузки, хранения и просмотра результатов медицинских исследований в формате DICOM;
- разработаны процедуры идентификации каждого пациента для предоставления всех связанных с ним результатов исследований;
- разработаны критерии разбиения изображений по категориям (ТРГ, РКТ);
- обеспечен доступ к серверу с компьютеров в корпоративной сети оториноларингологического отделения (в среде архитектуры клиент-сервер).

Также прошли опытную апробацию следующие режимы взаимодействия программного обеспечения с врачом:

- обеспечена поддержка различных видов поиска (ФИО, id, дата рождения и т. д.);
- выполнены процедуры для режимов разграничения доступа к определенным разделам, идентификации для доступа к системе через админ-панель, отслеживания несанкционированного доступа к системе.

3. Первый этап разработки реализован в виде автоматизированного рабочего места медицинских информационных систем для хранения и обработки результатов медицинских исследований. Подготовлено руководство, адресованное пользователям автоматизированного рабочего места медицинских информационных систем, в котором приведено полное описание функциональных возможностей и приемов работы автоматизированного рабочего места. Тестовые испытания и опытная эксплуатация подтвердили соответствие автоматизированного рабочего места медицинских информационных систем заданным критериям разработки.

На втором этапе выполнены разработка искусственной нейронной сети для анализа и диагностирования рентгеновских изображений и интеграция автоматизированного рабочего места медицинских информационных систем в существующий технологический процесс в лор-отделении.

4. Новизна полученных результатов выражается в возможности:

- одновременного занесения и извлечения данных о пациентах и результатов в виде КТ-снимков в DICOM-формате;

– накопления исследований по каждому конкретному пациенту;
– просмотра исследований изображений компьютерной томографии и других исследований в DICOM-формате и их масштабирования для увеличения выбранной области изображений непосредственно на экране рабочего места врача взамен традиционному использованию специальных DICOM Viewer-программ сторонних производителей, требующих предварительной загрузки на компьютер врача.

5. Конечная цель разработки новой медицинской информационной системы – возможность ее адаптации и тиражирования для заинтересованных медицинских учреждений с учетом цифровой трансформации процессов обработки результатов исследований и помощь врачу в постановке диагноза.

Список литературы

1. Национальная медицинская ассоциация оториноларингологов. Режим доступа: <https://нмао.рф/?ysclid=lo8ce45iyx209581379>. Дата доступа: 11.10.2023.
2. Тульских, О. Искусственный интеллект поможет в диагностике лор-заболеваний [Электронный ресурс] / О. Тульских // Проект «Берза». Режим доступа: <https://berza.ru/digital-diaphanoscopy-ml>. Дата доступа: 17.10.2023.
3. Концепция развития электронного здравоохранения Республики Беларусь на период до 2022 года. Режим доступа: https://minzdrav.gov.by/upload/dadvfiles/CONCEPT_E-Health.pdf. Дата доступа: 11.10.2023.
4. DICOM архив. Режим доступа: https://rentgenogram.com/dicom_big_data. Дата доступа: 12.09.2023.
5. PACS/РИС решения. Режим доступа: <https://multivox.ru>. Дата доступа: 12.09.2023.
6. Диагностика легких по снимкам КТ на базе ИИ. Режим доступа: <https://sbermed.ai/diagnostic-center/our-algorithms/ct-lungs/?ysclid=lo8ert2dmc752066814>. Дата доступа: 16.10.2023.
7. Полностью автоматическая система анализа КТ-изображений на основе искусственного интеллекта для точного выявления, диагностики и количественной оценки тяжести туберкулеза легких / Янь Ченгун [и др.] // *European Radiology*. 2022. No 32. P. 2188–2199. Режим доступа: <https://doi.org/10.1007/s00330-021-08365-z>. Дата доступа: 16.10.2023.
8. Искусственный интеллект для выявления пневмонии COVID-19 при компьютерной томографии грудной клетки с использованием многонациональных наборов данных / С. А. Хармон [и др.] // *Nature Communications*. 2020. No 11. Режим доступа: <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17971-2>. Дата доступа: 16.10.2023.
9. Искусственный интеллект и визуализация острого инсульта / Э. Соун Дж. [и др.] // *American Journal of Neuroradiology*. 2021. Vol. 42, No 1. P. 2–11. Режим доступа: <https://doi.org/10.3174/ajnr.A6883>. Дата доступа: 17.10.2023.
10. Глубокое обучение: многообещающий метод прогнозирования гистологического класса опухолей молочной железы в маммографии / Р. Е. Ника [и др.] // *Journal of Digital Imaging*. 2021. No 34. P. 1190–1198. Режим доступа: <https://doi.org/10.1007/s10278-021-00508-4>. Дата доступа: 17.10.2023.
11. Классификация рака кожи на уровне дерматолога с помощью глубоких нейронных сетей / А. Эстева [и др.] // *Nature*. 2017. No 542. P. 115–118. Режим доступа: <https://doi.org/10.1038/nature21056>. Дата доступа: 17.10.2023.
12. Информационно-коммуникационные технологии в обосновании рентгеновского обследования оториноларингологических пациентов / Д. А. Якимов [и др.]. // *Проблемы здоровья и экологии*. 2022. Т. 19, № 3. С. 3–19. Doi: 10.51523/2708-6011.2022-19-3-19.
13. Кренке, Д. М. Теория и практика построения баз данных / Д. М. Кренке; пер. с англ., 9-е изд. СПб.: Питер, 2005.
14. Саммерфилд, М. Программирование на Python 3. Подробное руководство / М. Саммерфилд; пер. с англ. СПб.: Символ-плюс, 2016.
15. McGaw, J. *Beginning Django E-Commerce* / J. McGaw. NY: Apress, 2009.
16. Милл, И. *Docker на практике* / И. Милл, Э. Х. Сейерс; пер. с англ. М.: ДМК Пресс, 2020.

References

1. *National Medical Association of Otorhinolaryngologists*. Available: <https://нмао.рф/?ysclid=lo8ce45iyx209581379> (Accessed 11 October 2023) (in Russian).
2. Tulsikh O. (2023) Artificial Intelligence Will Help in the Diagnosis of ENT Diseases. *The Berza Project*. Available: <https://berza.ru/digital-diaphanoscopy-ml> (Accessed 17 October 2023) (in Russian).
3. *The Concept of E-Health Development of the Republic of Belarus for the Period Up to 2022*. Available: https://minzdrav.gov.by/upload/dadvfiles/CONCEPT_E-Health.pdf (Accessed 11 October 2023) (in Russian).

4. *DICOM Archive*. Available: https://rentgenogram.com/dicom_big_data (Accessed 12 September 2023) (in Russian).
5. *PACS/PIC Solutions*. Available: <https://multivox.ru> (Accessed 12 September 2023) (in Russian).
6. *Lung Diagnostics Based on CT Scans Based on AI*. Available: <https://sbermed.ai/diagnostic-center/our-algorithms/ct-lungs/?ysclid=lo8ert2dmc752066814> (Accessed 16 October 2023) (in Russian).
7. Chenggong Yan, Lingfeng Wang, Jie Lin, Jun Xu, Tianjing Zhang, Jin Qi, et al. (2022) A Fully Automatic Artificial Intelligence-Based CT Image Analysis System for Accurate Detection, Diagnosis, and Quantitative Severity Evaluation of Pulmonary Tuberculosis. *European Radiology*. (32), 2188–2199. Available: <https://doi.org/10.1007/s00330-021-08365-z> (Accessed 16 October 2023).
8. Harmon S. A., Sanford T. H., Sheng Xu, Turkbey E. B., Roth H., Ziyue Xu, et al. (2020) Artificial Intelligence for the Detection of COVID-19 Pneumonia on Chest CT Using Multinational Datasets. *Nature Communications*. (11). Available: <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17971-2> (Accessed 16 October 2023).
9. Soun J. E., Chow D. S., Nagamine M., Takhtawala R. S., Filippi C. G., Yu W., et al. (2021) Artificial Intelligence and Acute Stroke Imaging. *American Journal of Neuroradiology*. 42 (1), 2–11. Available: <https://doi.org/10.3174/ajnr.A6883> (Accessed 17 October 2023).
10. Nica R.-E., Șerbănescu M.-S., Florescu L.-M., Camen G.-C., Streba C. T., Gheonea I.-A. (2021) Deep Learning: A Promising Method for Histological Class Prediction of Breast Tumors in Mammography. *Journal of Digital Imaging*. 34 (5), 1190–1198. Available: <https://doi.org/10.1007/s10278-021-00508-4> (Accessed 17 October 2023).
11. Esteva A., Kuprel B., Novoa R. A., Ko J., Swetter S. M., Blau H. M., et al. (2017) Dermatologist-Level Classification of Skin Cancer with Deep Neural Networks. *Nature*. (542), 115–118. Available: <https://doi.org/10.1038/nature21056> (Accessed 17 October 2023).
12. Yakimov D. A., Demidenko O. M., Yakimov E. A., Vygovskaya N. V. (2022) Information and Communication Technologies in the Justification of X-Ray Examination of Otorhinolaryngology Patients. *Health and Ecology Issues*. 19 (3), 3–19. Doi: 10.51523/2708-6011.2022-19-3-19 (in Russian).
13. Krenke D. (2005) *Theory and Practice of Building Databases*. St. Petersburg, Peter Publ. (in Russian).
14. Summerfield M. (2016) *Programming in Python 3. A Detailed Guide*. St. Petersburg, Symbol-Plus Publ. (in Russian).
15. McGaw J. (2009) *Beginning Django E-Commerce*. NY, Apress Publ.
16. Miell I., Sayers A. H. (2020) *Docker in Practice*. Moscow, DMK Press Publ. (in Russian).

Вклад авторов / Authors' contribution

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

Сведения об авторах

Якимов Д. А., канд. мед. наук, врач-оториноларинголог высшей квалификации, Могилевская областная клиническая больница

Выговская Н. В., ст. преп. каф. автоматизированных систем управления, Белорусско-Российский университет

Дроздов И. В., инж.-програм. ООО «Финвин Технолоджис»

Адрес для корреспонденции

212030, Республика Беларусь,
г. Могилев, площ. Славы, 4–4
Белорусско-Российский университет
Тел.: +375 29 541-41-95
E-mail: vygovskaya-natalya@mail.ru
Выговская Наталья Владимировна

Information about the authors

Yakimov D. A., Cand. of Sci., Otorhinolaryngologist of the Highest Qualification, Mogilev Regional Clinical Hospital

Vygovskaya N. V., Senior Lecturer at the Automated Control Systems Department, Belarusian-Russian University

Drozhdov I. V., Software Engineer, LLC “Finwin Technologies”

Address for correspondence

212030, Republic of Belarus,
Mogilev, Slavy Sq., 4–4
Belarusian-Russian University
Tel.: +375 29 541-41-95
E-mail: vygovskaya-natalya@mail.ru
Vygovskaya Natallia Vladimirovna