

Қарағанды мемлекеттік
индустриялық университетінің
ХАБАРШЫСЫ

ВЕСТНИК
Карагандинского государственного
индустриального университета

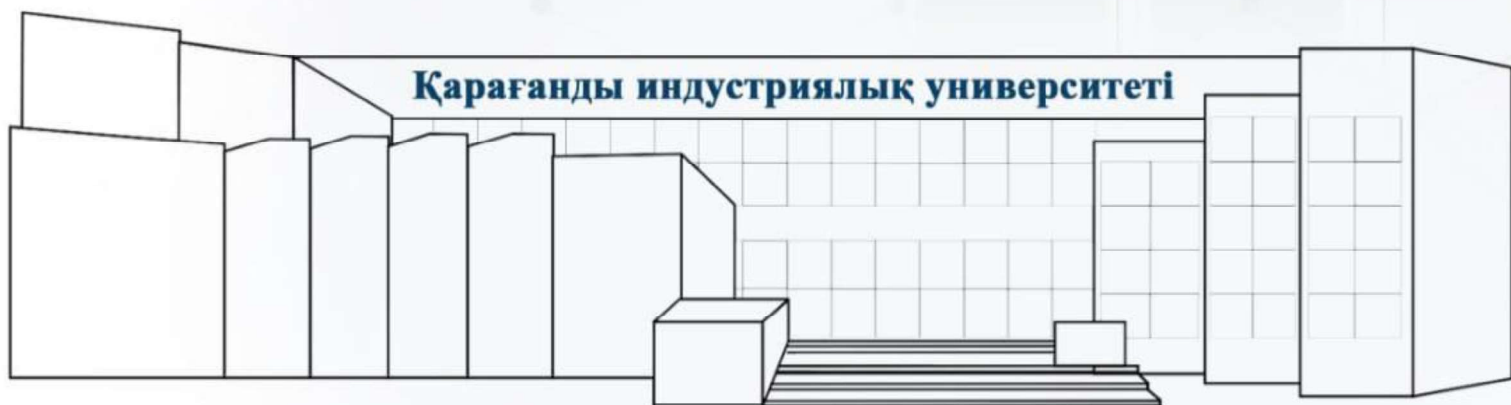
BULLETIN
of the Karaganda state
industrial university

<https://ttu.edu.kz/ru/vestnik-kariu/>

1

(52) 2026

Қарағанды индустриялық университеті



ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
ҚАРАҒАНДЫ МЕМЛЕКЕТТІК ИНДУСТРИАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ

№ 1 (52) 2026 г.

e-ISSN: 3134-8467

p-ISSN: 2309-1177

**ҚАРАҒАНДЫ МЕМЛЕКЕТТІК ИНДУСТРИАЛЫҚ
УНИВЕРСИТЕТІНІҢ ХАБАРШЫСЫ**

**BULLETIN OF THE
KARAGANDA STATE INDUSTRIAL UNIVERSITY**

**ВЕСТНИК КАРАГАНДИНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ИНДУСТРИАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА**

**ҚАҢТАР-НАУРЫЗ 2026
JANUARY-MARCH 2026
ЯНВАРЬ-МАРТ 2026**

**ЖЫЛЫНА 4 РЕТ ШЫҒАДЫ
QUARTERLY JOURNAL
ВЫХОДИТ 4 РАЗА В ГОД**

Теміртау - 2026

БАС РЕДАКТОР

Жаутиков Бахыт Ахатович – т.ғ.к., т.ғ.д., энергетика профессоры, «Қарағанды индустриялық университеті» КЕАҚ Басқарма төрағасы–Ректоры.

РЕДАКЦИЯЛЫҚ КОЛЛЕГИЯ

Белов Николай Александрович – т.ғ.д., профессор, «Құю процестерінің технологиясы» кафедрасы жанындағы ИЛТМ инжиниринг орталығының директоры, «Мәскеу болат және қорытпалар институты» Ұлттық зерттеу технологиялық университеті, Ресей; **Ким Александр Сергеевич** – т.ғ.д., Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институтының БОР зертханасының бас ғылыми қызметкері, Қазақстан; **Павлов Александр Васильевич** – т.ғ.д., «Болат және ферроқорытпалар металлургиясы» кафедрасының профессоры, «Мәскеу болат және қорытпалар институты» Ұлттық зерттеу технологиялық университеті, Ресей; **Панин Евгений Александрович** – PhD, «Металдарды қысыммен өңдеу» кафедрасының доценті, Қарағанды индустриялық университеті, Қазақстан; **Riad Taha Al-Kasasbeh** – PhD, Әл-Балқа қолданбалы университетінің профессоры (Al-Balqa' Applied University), Амман қ., Иордания; **Richard Fabik** – PhD, «Материалдарды өңдеу» кафедрасының профессоры, Техникалық университет, Острава қ., Чехия; **Syed Abdul Rahman Al-Haddad** – т.ғ.д., PhD, Компьютерлік және коммуникациялық жүйелер факультетінің профессоры, Universiti Putra Malaysia (UPM), Малайзия; **Nur Nabihah Yusof** – Universiti Sains Malaysia Физика мектебі, PhD, Пинанг, Малайзия; **Abdeslam Hassani** – Маркетинг және ақпараттық жүйелер кафедрасының профессоры, Квебек университеті Трүа-Ривьерде (Université du Québec à Trois-Rivières), Бизнес мектебі, Канада; **Sri Rizki Putri Primandari** – Инженерия факультетінің профессоры, Universitas Negeri Padang (UNP), химиялық және технологиялық инженерия саласының докторы, Индонезия; **Didik Hariyanto** – Электртехникалық білім беру кафедрасының профессоры, Universitas Negeri Yogyakarta (UNY), Индонезия; **Abdul Hafidz Bin Yusoff** – Биоинженерия және технологиялар факультетінің доценті, Universiti Malaysia Kelantan, Малайзия; **Кенжалиев Олжас Багдаулетович** – PhD, Ғылыми жұмыс және халықаралық ынтымақтастық жөніндегі проректор, «Қарағанды индустриялық университеті» КЕАҚ, Қазақстан; **Мыңжасар Есмұрат Аманғалиұлы** - Металлургия және машина жасау факультеті, «Қарағанды индустриялық университеті» КЕАҚ, PhD, Қазақстан; **Касымова Гүлжайна Куралбаевна** – PhD, «ИМиО» АҚ Зияткерлік меншік және халықаралық ынтымақтастық бөлімінің басшысы, Алматы қ., Қазақстан; **Christian S. Ugwuanyi** – Нигерия университетінің ғылыми білім беру бөлімі Білім факультеті, Еркін мемлекет университеті, Блумфонтейн, Оңтүстік Африка; **Кабиева Сауле Казжановна** – х.ғ.к., Қарағанды индустриялық университетінің Химиялық технология және экология кафедрасының профессоры, Теміртау қ., Қазақстан; **Кунаев Вячеслав Александрович** - Ғылым және инновация департаментінің директоры, «Қарағанды индустриялық университеті» КЕАҚ, PhD, Қазақстан.

Жауапты хатшы

Солтан Айдана – Ғылым және инновация департаментінің жетекші маманы, «Қарағанды индустриялық университеті» КЕАҚ, Қазақстан.

Носов Вячеслав Григорьевич – Ғылым және инновация департаментінің маманы, «Қарағанды индустриялық университеті» КЕАҚ, Қазақстан.

Журналдың сайты: https://vestnik.tttu.edu.kz/index.php/kariu_vestnik

Электрондық почта: bulletin@tttu.edu.kz

Байланыс телефоны: +7 (721) 391-39-01

Қарағанды мемлекеттік индустриялық университетінің хабаршысы

Меншік иесі: «Қарағанды индустриялық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы

1991 жылы құрылған - 2001 және 2013 жылдары атауы өзгертілген.

Мерзімді баспасөз басылымын және интернет-басылымды қайта есепке қою туралы куәлік: 08.05.2026 ж.

Баспахананың атауы, мекенжайы және редакцияның мекенжайы:

Қарағанды индустриялық университетінің даму орталығы, Республикалық даңғылы, 30,
Теміртау, Қарағанды облысы, 101400

EDITOR-IN-CHIEF

Zhautikov Bakhyt Akhatovich – Chairman of the Board - Rector of the NAO "Karaganda Industrial University", PhD, Doctor of Engineering, Professor of Energy.

EDITORIAL BOARD MEMBERS

Belov Nikolay Aleksandrovich – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Director of the ILTM Engineering Center at the Department of Foundry Technology at the National Research Technological University "Moscow Institute of Steel and Alloys", Russia; **Kim Alexander Sergeevich** – Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher of the BOR Laboratory of the Chemical-Metallurgical Institute named after. Zh. Abisheva, Kazakhstan; **Pavlov Alexander Vasilyevich** – Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Metallurgy of Steel and Ferroalloys at the National Research Technological University "Moscow Institute of Steel and Alloys", Russia; **Panin Evgeny Alexandrovich** – PhD, Associate Professor of the Department of Metal Forming at the Karaganda Industrial University, Kazakhstan; **Riad Taha Al-Kasasbeh** – PhD, Professor, Al-Balqa Applied University, Amman, Jordan; **Richard Fabik** – PhD, Professor of the Department of Materials Processing, Technical University of Ostrava, Czech Republic; **Syed Abdul Rahman Al-Haddad** – Doctor of Engineering, PhD, Professor, Faculty of Computer and Communication Systems, Universiti Putra Malaysia (UPM), Malaysia; **Nur Nabihah Yusof** – School of Physics, Universiti Sains Malaysia, 11800, USM, Pulau Pinang, Malaysia; **Abdeslam Hassani** – Professor, Business School, University of Quebec at Trois-Rivieres, Department: marketing and information systems Member of Institut of research on SMEs, University of Quebec at Trois-Rivieres, Canada; **Sri Rizki Putri Primandari** – PhD in Chemical and Process Engineering, Professor, Faculty of Engineering, Universitas Negeri Padang (UNP), Indonesia; **Didik Hariyanto** – Professor, Department of Electrical Engineering Education, Universitas Negeri Yogyakarta (UNY), Indonesia; **Abdul Hafidz Bin Yusoff** – Associate Professor, Faculty of Bioengineering & Technology, Universiti Malaysia Kelantan Director, Research Management and Division, Universiti Malaysia Kelantan; **Kenzhaliyev Olzhas Bagdauletovich** – PhD, Member of the Management Board – Vice-Rector for Research and International Cooperation, Non-Profit Joint-Stock Company "Karaganda Industrial University", Kazakhstan; **Myngzhassar Yesmurat** - Faculty of Metallurgy and Mechanical Engineering, Karaganda Industrial University, Kazakhstan; **Kassymova Gulzhaina Kuralbayevna** – PhD, Head of the Department of Intellectual Property and International Cooperation, Joint-Stock Company "Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation" (JSC IMOB), Almaty, Kazakhstan; **Christian S. Ugwuanyi** – Department of Science Education, University of Nigeria Faculty of Education, University of the Free State, Bloemfontein, South Africa; **Kabieva Saule Kazhanovna** – Candidate of Chemical Sciences, Professor, Department of Chemical Technology and Ecology, Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan; **Kunaev Vyacheslav Alexandrovich** - Director of the Department of Science and Innovation of the Karaganda Industrial University, Kazakhstan.

Executive Secretary

Soltan Aidana – Leading Specialist, Department of Science and Innovation, Non-Profit Joint-Stock Company "Karaganda Industrial University", Kazakhstan.

Nosov Vyacheslav Grigorievich – Specialist, Department of Science and Innovation, Non-Profit Joint-Stock Company "Karaganda Industrial University", Kazakhstan.

Сайт журнала: https://vestnik.tttu.edu.kz/index.php/kariu_vestnik

Электронная почта: bulletin@tttu.edu.kz

Контактный телефон: +7(721)3913901

Bulletin of the Karaganda State Industrial University
Owner: Non-profit Joint-Stock Company "Karaganda Industrial University"

Founded in 1991 - Renamed in 2001 and 2013
Certificate of Re-registration of the Periodical Print and Online Publication dated 08 May 2026.

Printing house name, address, and editorial office address:
Karaganda Industrial University Development Center, 30 Respubliki Ave.,
Temirtau, Karaganda Region, 101400

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Жаутиков Бахыт Ахатович – Председатель Правления-Ректор НАО «Карагандинский индустриальный университет», к.т.н., д.т.н., профессор энергетики.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Белов Николай Александрович – PhD, д.т.н., профессор, Директор Инжинирингового центра ИЛТМ, кафедра «Технология литейных процессов», Национальный исследовательский технологический университет «Московский институт стали и сплавов», Россия; **Ким Александр Сергеевич** – д.т.н., главный научный сотрудник лаборатории БОР Химико-металлургического института им. Ж. Абишева, Казахстан; **Павлов Александр Васильевич** – д.т.н., профессор кафедры «Металлургия стали и ферросплавов» Национального исследовательского технологического университета «Московский институт стали и сплавов», Россия; **Панин Евгений Александрович** – PhD, доцент кафедры «Обработка металлов давлением» НАО «Карагандинский индустриальный университет», Казахстан; **Riad Taha Al-Kasasbeh** – PhD, профессор Прикладного университета Al-Balqa (Al-Balqa' Applied University), г. Амман, Иордания; **Richard Fabik** – PhD, профессор кафедры «Обработка материалов» Технического университета, г. Острава, Чехия; **Syed Abdul Rahman Al-Haddad** – д.т.н., PhD, профессор факультета компьютерных и коммуникационных систем, Universiti Putra Malaysia (UPM), Малайзия; **Nur Nabihah Yusof** – PhD, профессор, Школа физики, Universiti Sains Malaysia, Pulau Pinang, Малайзия; **Abdeslam Hassani** – Профессор кафедры маркетинга и информационных систем, Школа бизнеса Университета Quebec at Trois-Rivieres, Канада; **Sri Rizki Putri Primandari** – профессор факультета инженерии Universitas Negeri Padang (UNP), доктор наук в области химической и технологической инженерии, Индонезия; **Didik Hariyanto** – профессор кафедры электротехнического образования, Universitas Negeri Yogyakarta (UNY), Индонезия; **Abdul Hafidz Bin Yusoff** – доцент факультета биоинженерии и технологий, Universiti Malaysia Kelantan, Малайзия; **Кенжалиев Олжас Багдаулетович** – PhD, Член Правления-Проректор по НРиМС НАО «Карагандинский индустриальный университет», Казахстан; **Мынжасар Есмұрат Аманғалиұлы** - Факультет металлургии и машиностроения, НАО «Карагандинский индустриальный университет», PhD, Казахстан; **Касымова Гулжайна Куралбаевна** – PhD, Руководитель отдела интеллектуальной собственности и международного сотрудничества АО «ИМиО», Алматы, Казахстан; **Christian S. Ugwuanyi** – кафедра естественнонаучного образования, University of Nigeria Факультет образования, University of the Free State, г. Блумфонтейн, Южно-Африканская Республика; **Кабиева Сауле Казжановна** – к.х.н., профессор кафедры химической технологии и экологии Карагандинского индустриального университета, г. Темиртау, Казахстан; **Кунаев Вячеслав Александрович** - Директор Департамента науки и инновации НАО «Карагандинский индустриальный университет», PhD, Казахстан.

Ответственный секретарь

Солтан Айдана – ведущий специалист Департамента науки и инноваций, НАО «Карагандинский индустриальный университет», Казахстан.

Носов Вячеслав Григорьевич – специалист Департамента науки и инноваций, НАО «Карагандинский индустриальный университет», Казахстан.

Сайт журнала: https://vestnik.tttu.edu.kz/index.php/kariu_vestnik

Электронная почта: bulletin@tttu.edu.kz

Контактный телефон: +7(721)3913901

Вестник Карагандинского государственного индустриального университета
Собственник: Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский индустриальный университет»

Основан в 1991 году - Переименован в 2001 г. и 2013 г.

Свидетельство о постановке на переучет периодического печатного издания, интернет издания: 08.05.2026

Наименование типографии, её адрес и адрес редакции:
ДЦТ Карагандинского индустриального университета, 101400, пр. Республики, 30,
г. Темиртау, Карагандинская обл.

MECHANICAL ENGINEERING, TECHNOLOGICAL MACHINES AND TRANSPORT, CONSTRUCTION

DOI: <https://www.doi.org/10.53002/113>

VARIABLE THERMAL INTERFACES BASED ON DISCRETE LIQUID DROPLETS

^{1*}Zhunusov Zh.A., ²Arbi Y.

¹Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan

²Padang State University, Indonesia

*Corresponding author e-mail: zharaskanzhunusov@gmail.com

Author information:

Zhunusov Zh.A. - Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan. E-mail: zharaskanzhunusov@gmail.com

Arbi Yaumal - Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Padang State University (Universitas Negeri Padang), Indonesia. E-mail: yaumalarbi@ft.unp.ac.id

Abstract. We propose a variable thermal interface based on an array of discrete liquid droplets initially confined on hydrophilic islands in the substrate. The droplets are reversibly morphologically transferred to a continuous liquid film when mechanically compressed by the opposite substrate to create a heat-conducting pathway with low thermal resistance. We study the criterion of reversible transition in terms of hydrophilic sample size and liquid volume. The dependence of fluid morphology and rupture distance on the diameter and distribution share of hydrophilic Islands, fluid volume, as well as load pressure, is also characterized from a theoretical and experimental point of view. The thermal resistance in this state is characterized experimentally for ionic liquids, which are promising for practical use due to the insignificant vapor pressure. A service life test unit has been designed to assess the reliability of the interface under continuous switching conditions at relatively high switching frequencies.

Keywords: variable thermal interface, reversibility, liquid morphology, thermal resistance, reliability.

ДИСКРЕТТИ СҰЙЫҚТЫҚ ТАМШЫЛАРЫНА НЕГІЗДЕЛГЕН АЙНЫМАЛЫ ЖЫЛУ ИНТЕРФЕЙСТЕРІ

^{1*}Жүнісов Ж.А., ²Арби Ү.

¹Қарағанды Индустриялық Университеті, Теміртау, Қазақстан

²Паданг мемлекеттік университеті, Индонезия

*Корреспондент автор e-mail: zharaskanzhunusov@gmail.com

Авторлар туралы ақпарат:

Жүнісов Ж.А. - Қарағанды Индустриялық Университеті, Теміртау, Қазақстан. E-mail: zharaskanzhunusov@gmail.com

Arbi Yaumal - Паданг мемлекеттік университетінің (Universitas Negeri Padang), Құрылыс инженериясы кафедрасы, Индонезия. E-mail: yaumalarbi@ft.unp.ac.id

Аңдатпа. Біз бастапқыда субстраттағы гидрофильді аралдармен шектелген дискретті сұйықтық тамшыларының массивіне негізделген айнымалы жылу интерфейсі ұсынамыз. Тамшылар қайтымды морфологиялық жолмен қарама-қарсы субстратпен механикалық сығымдалған кезде үздіксіз сұйық қабықшаға ауысады, жылу өткізгіштігі төмен жылу өткізгіш жол жасайды. Біз гидрофильді үлгінің мөлшері мен сұйықтық көлемі бойынша қайтымды ауысу критерийін зерттейміз. Сұйықтық морфологиясы мен жарылу қашықтығының гидрофильді Аралдардың диаметрі мен Аудан үлесіне, сұйықтық көлеміне, сондай-ақ жүктеме қысымына тәуелділігі теориялық және эксперименттік тұрғыдан да сипатталады. Күйдегі жылу кедергісі будың шамалы қысымына байланысты практикалық қолдануға перспективалы иондық сұйықтықтар үшін эксперименталды түрде сипатталады. Салыстырмалы түрде жоғары коммутациялық жиіліктерде үздіксіз коммутация жағдайында интерфейсін сенімділігін бағалау үшін қызмет ету мерзімін тексеру блогы жасалған.

Түйінді сөздер: ауыспалы жылу интерфейсі, қайтымдылық, сұйықтық морфологиясы, жылу кедергісі, сенімділік.

ИЗМЕНЯЕМЫЕ ТЕПЛОВЫЕ ИНТЕРФЕЙСЫ НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНЫХ КАПЕЛЬ ЖИДКОСТИ

^{1*}Жунусов Ж.А., ²Arbi Y.

¹Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

²Государственный университет Паданга, Индонезия

*Автор-корреспондент e-mail: zharaskanzhunusov@gmail.com

Информация об авторах:

Ж.А. Жунусов - Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан. E-mail: zharaskanzhunusov@gmail.com

Arbi Yaumal - Кафедра гражданского строительства, Государственный университет Паданга (Universitas Negeri Padang), Индонезия. Электронная почта: yaumalarbi@ft.unp.ac.id

Аннотация. Мы предлагаем изменяемый термоинтерфейс, основанный на наборе отдельных капель жидкости, изначально удерживаемых на гидрофильных островках в подложке. Капли обратимым образом преобразуются в сплошную пленку жидкости при механическом сжатии противоположной подложкой для создания теплопроводящего канала с низким тепловым сопротивлением. Мы изучаем критерий обратимого перехода с точки зрения размера гидрофильного образца и объема жидкости. Зависимость морфологии жидкости и расстояния разрыва от диаметра и доли участков гидрофильных островков, объема жидкости, а также давления нагрузки также охарактеризованы с теоретической и экспериментальной точек зрения. Термическое сопротивление в этом состоянии экспериментально охарактеризовано для ионных жидкостей, которые перспективны для практического использования из-за незначительного давления паров. Для оценки надежности интерфейса в условиях непрерывного переключения при относительно высоких частотах переключения была разработана установка для проверки срока службы.

Ключевые слова: изменяемый тепловой интерфейс, обратимость, морфология жидкости, термостойкость, надежность.

MAIN PROVISION

A novel variable thermal interface based on discrete liquid droplets confined on hydrophilic islands is proposed and experimentally validated. The study establishes the conditions for a reversible droplet-to-film transition and demonstrates how hydrophilic island geometry, liquid volume, and applied load influence thermal performance. The proposed interface exhibits low thermal resistance and reliable switching stability, highlighting its potential for practical thermal management applications.

INTRODUCTION

Interchangeable thermal interfaces allow controlled modulation of the thermal conductivity between the devices of interest and their heat sinks/sources. They are key components of Micro Devices and systems that require reconfigurable heat transfer pathways to control and control low-power heat. Potential applications [1, 2, 3, 4] include microbolometers with locally adjustable dynamic ranges, pulsed thermoelectric cooling, solid-state electrocaloric refrigerators requiring a fast thermal cycle of the working environment, pyroelectric waste heat collection, and satellite heat management.

It is well proven that thermal transfer through solid-solid contacts is often limited to surface dead ends that reduce specific contact areas. Previous experimental studies have shown that even for rough

silicon surfaces on a nanometer scale ($<10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{w}$), a significant load pressure (Order 1 MPa) is required to achieve a small thermal contact resistance ($<10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}$) [1]. This may be due to trapped gas layers, which strongly inhibit thermal conductivity. Dense arrays of vertically aligned carbon nanotubes [5] or nanofibers

[6] have received much attention for potential heat transfer applications. A relatively large load pressure, however, was often necessary to achieve a small thermal resistance, as only a small part of the tubes communicated

with the opposite surface. In addition, the strong adhesion between carbon nanotubes and the opposite surface [7] during close contact and the resulting delamination defects render them unsuitable as alternating thermal interfaces.

The previous study showed an appropriate thermal switch consisting of an array of discrete Mercury droplets [2]. Since the thermal conductivity of mercury is relatively high, the thermal resistance in each drop can be very low ($\sim 4 \times 10^{-6} \text{ M}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}$). However, Mercury poses a threat to health and the environment. Some alternative room-temperature liquid metals can bypass this problem, but they oxidize quickly in the surrounding air, making their practical use difficult.

Recent studies have repeatedly demonstrated the potential of an alternative liquid-mediated thermal

interface that can provide thermal contact resistance comparable to direct solid-state contacts at a small load pressure [8, 9, 10, 11]. The main idea was to use the predominance of surface tension over gravity and other volumetric forces in micromasses to reversibly change the morphology of parallel columns of dielectric fluid bounded by microchannels. In its out-of-state state, the two interface-defining surfaces are separated from each other by an air or vacuum gap. The fluid is bounded by an array of discrete microchannels separated from each other by hydrophobic regions. The two surfaces are then in contact to compress and deform the liquid columns until a continuous liquid layer is formed. Two pages are pulled apart to disable the interface. The continuous liquid layer is then first transformed into an array of liquid bridges covering the gap, which then break off to break the thermal bond between the two surfaces.

The channel-based liquid thermal interface has the advantages that it can be easily made using standard microfabrication methods, and each channel can be easily filled with a specific amount of liquid to control the final distance.

The main disadvantage of this design, however, is associated with its requirement for a long mechanical stroke. The distance required for the rupture of liquid Bridges is equal to the length of the microchannels, or usually ~ 1 mm. This can be a

problem in applications that require microactuators in a limited starting range or a fast thermal cycle.

Research gap. Although previous variable thermal interfaces based on liquid columns and microchannels have demonstrated promising thermal performance, their relatively large rupture distance limits their application in compact microsystems requiring short actuation strokes and high switching frequencies. Therefore, there remains a need for a reversible thermal interface capable of maintaining low thermal resistance while reducing the required mechanical displacement.

This work informs our theoretical and experimental work on an alternative design that replaces microchannels with arrays of discrete chemical-expression hydrophilic islands to reduce or otherwise control the breaking distance of a liquid bridge. As an illustration, Figure 1 shows the difference in the break distance between the two constructions. For one fluid volume in question, the interface with circular islands has a break distance of less than 300 microns [Figure 1(a)], while the interface with parallel microchannels is more than 700 microns [Figure 1(B)].

Novelty statement. The novelty of this work lies in introducing discrete hydrophilic islands as an alternative to conventional microchannels for reversible liquid-mediated thermal interfaces. This design reduces the rupture distance while maintaining low thermal resistance and reliable switching behavior.

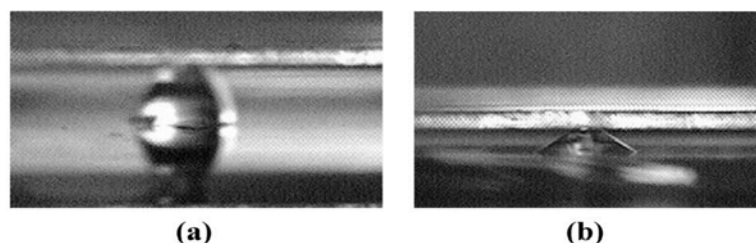


Figure 1 - Comparison of the breaking distances of liquid bridges defined by (a) microchannels and (b) discrete hydrophilic samples

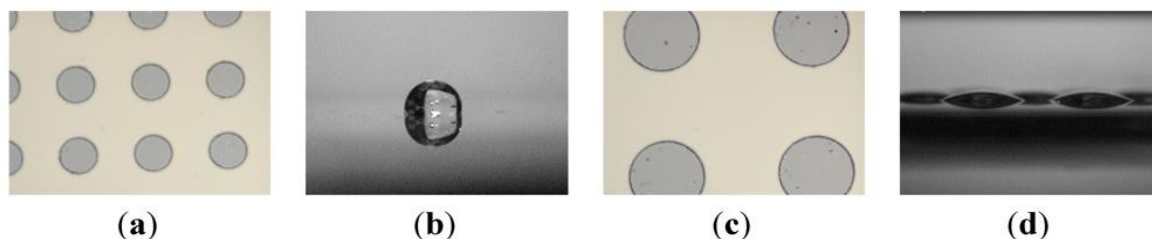


Figure 2 - Comparison of large and small patterns. The liquid on the substrate with smaller hydrophilic patterns (a) forms a single drop after breaking, but on the substrate with larger hydrophilic patterns (c) it forms discrete droplets (d)

METODOLOGY

One of the most important design issues for interchangeable thermal interfaces is their reversibility. That is, the continuous liquid shell resulting from the deformation and fusion of an

array of discrete liquid droplets must return to the original state of discrete droplets when the two surfaces are separated from each other.

As a model system, we consider a set of circular hydrophilic patches on a non-

hydrophobic surface. The two main design parameters are: (1) sample size, characterized by diameter d , and (2) the territorial portion of the pattern, defined as the proportion of surface area occupied by hydrophilic Islands F . when d or f is too small, the continuous liquid film formed in the addition state can become one large liquid drop instead of several discrete droplet arrays, as shown in Figure 2.

To establish numerical reversibility criteria, we compare the interface energy of the Es of a single-drop State and the EM of a discrete multi-

drop State. Assuming that the effect of gravity is negligible, we can bring liquid drops closer as cut balls. The interfacial energy can then be written as:

Here r is the radius of the wetting zone of a single droplet determined by the total volume (equation (3)), the apparent contact angle of a discrete droplet in each hydrophilic sample, g is the required minimum gap (i.e., the target minimum thickness of a continuous liquid layer), and V is the total volume of the liquid.

$$E_s = \left[2\pi r^2 \frac{1 - \cos \theta_2}{\sin^2 \theta_2} - \cos \theta_1 \cdot \pi r^2 \cdot f - \cos \theta_2 \cdot \pi r^2 \cdot (1 - f) \right] \cdot \gamma_{lv} \quad (1)$$

$$E_m = f \left[2 \frac{1 - \cos \alpha}{\sin^2 \alpha} - \cos \theta_1 \right] \cdot \gamma_{lv} \cdot \frac{V}{g} \quad (2)$$

$$V = \frac{\pi r^3}{3} \frac{(1 - \cos \theta_2)^2}{\sin^3 \theta_2} (2 + \cos \theta_2) \quad (3)$$

Figure 3 shows the interfacial energy calculated for two states $f = 0.2$, $V = 0.7 \mu\text{L}$ and $g = 20 \mu\text{m}$. We consider a situation where the contact angle in the hydrophilic pattern is $\theta_1 = 24.4^\circ$ (experimentally measured for Silicon after plasma etching of hydrophobic coating)

and θ_2 in the hydrophobic zone (e.g. Teflon® coating) is 120° . It is believed that the liquid-vapor surface tension $\gamma_{lv} = 73 \text{ mN/M}$ is comparable to water.

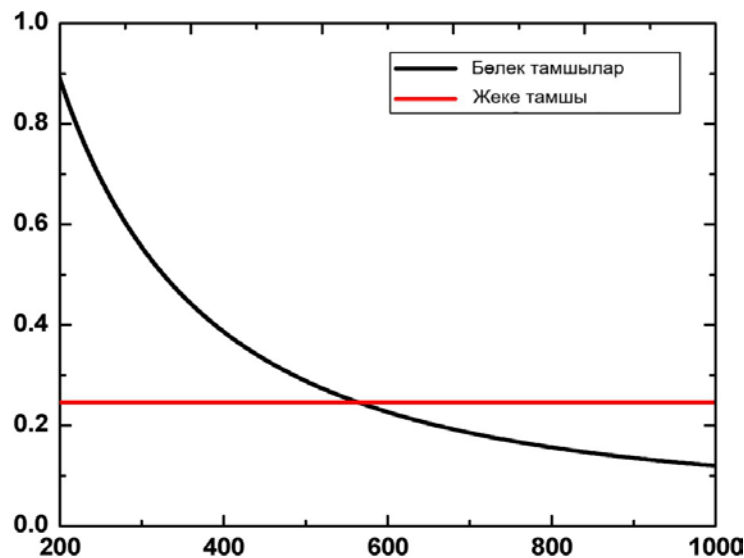


Figure 3 - Interface energy versus sample size of one drop State and multi-drop State

RESEARCH RESULTS

When the sample size is below about 560 microns, the discrete multi-drop State has a higher

energy and is therefore less energetically favorable than the single-drop State. That is, instead of forming several discrete droplets, a continuous liquid layer

can turn into one large liquid drop when two surfaces are separated from each other. To achieve reversibility, the sample size must exceed this value.

Figure 4 (A) shows the difference in the interfacial energies of the two states for different values of the areal part of the expression F . X-segments of about 500 to 700 microns correspond to the minimum sample size required for a discrete multi-drop state to be energetically acceptable. This minimum sample size decreases as f increases. In

other words, smaller samples can achieve reversibility in higher sample fractions, since neighboring hydrophilic samples are located close to each other. When the sample size is very large, the interfacial energy difference decreases as the pattern density increases. The liquid droplets in these large specimens tend to merge to form one large drop. As shown in Figure 4 (b), smaller visible angles are needed to prevent neighboring liquid droplets from merging in higher sample fractions.

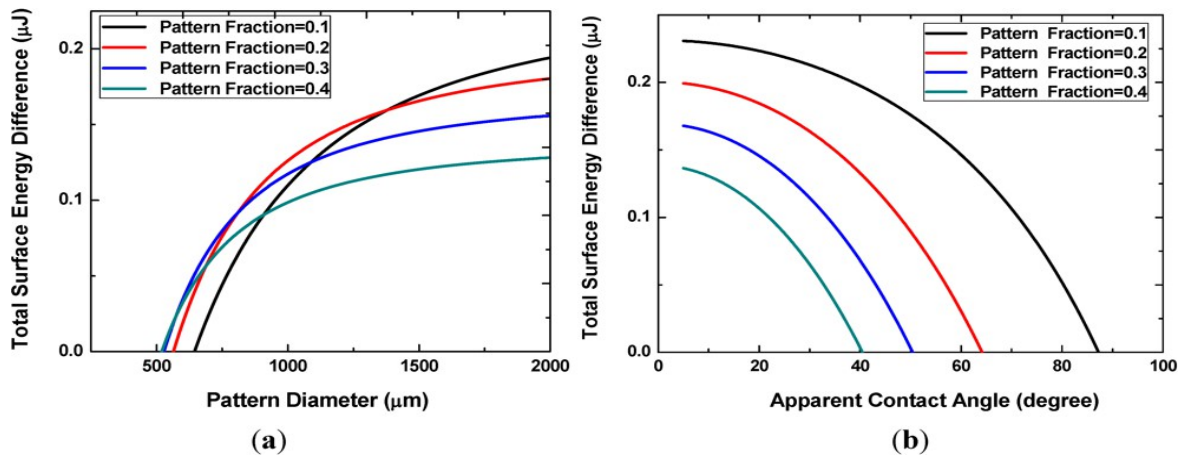


Figure 4 -the difference in interface energy (B) with different sample sizes and densities (a) or different visible angles of discrete droplets

DISCUSSION

The present study demonstrates that the reversibility of the proposed variable thermal interface is primarily governed by the geometric characteristics of the hydrophilic islands and the liquid volume. The theoretical energy analysis and experimental observations consistently indicate that an appropriate combination of these parameters enables a stable reversible transition between discrete droplets and a continuous liquid film.

The analysis further shows that increasing the hydrophilic pattern fraction reduces the minimum island diameter required for reversible operation. This behavior can be explained by the reduced spacing between neighboring hydrophilic islands, which facilitates liquid redistribution while maintaining the stability of discrete droplets after separation. These findings provide practical design guidelines for optimizing reversible thermal interfaces. Recent studies have likewise emphasized that interfacial wettability and liquid morphology are critical factors governing heat-transfer performance and the efficiency of advanced thermal interface materials [12].

Compared with previously reported microchannel-based thermal interfaces, the proposed design offers a substantially shorter liquid bridge rupture distance while preserving low thermal resistance. The experimental evaluation using ionic liquids further confirms their suitability as working

fluids because of their negligible vapor pressure and stable thermal characteristics. This observation is consistent with recent reviews highlighting the growing importance of ionic liquids for thermal management applications owing to their high thermal stability and favorable physicochemical properties [13].

The proposed variable thermal interface contributes to the ongoing development of advanced thermal management technologies for engineering applications. Recent studies have emphasized the importance of advanced high-temperature materials and numerical modeling for improving the thermal performance and reliability of heat-transfer systems [14, 15]. In this context, the present work demonstrates that controlling the geometry of hydrophilic islands and liquid morphology provides an effective approach for achieving reversible thermal switching with low thermal resistance, thereby extending the potential applications of adaptive thermal interface technologies.

Although the present study demonstrates the feasibility of the proposed concept, further investigations are required to evaluate long-term durability under different operating temperatures, alternative ionic liquid formulations, and extended switching cycles. Such studies would further support the practical implementation of the proposed thermal interface in advanced thermal management systems.

CONCLUSION

This study demonstrates the feasibility of a reversible thermal interface based on discrete liquid droplets confined on hydrophilic islands. The proposed design provides low thermal resistance while significantly reducing the required rupture distance compared with conventional microchannel-based interfaces. These findings indicate considerable potential for compact thermal switching devices used in MEMS, electronics cooling, and adaptive thermal management systems. Future work should focus on long-term durability, optimization of surface geometry, and performance evaluation under varying thermal loads.

This work establishes the concept of alternating thermal interfaces based on an array of discrete liquid droplets initially confined on hydrophilic islands in a hydrophobic substrate. The droplets are reversibly morphologically transferred to a continuous liquid film when mechanically compressed by the opposite substrate to create a heat-conducting pathway with low thermal resistance. We study the criterion of reversible transition in terms of hydrophilic sample size and liquid volume. The dependence of fluid morphology and rupture distance on the diameter and distribution share of hydrophilic Islands, fluid volume, as well as load pressure are also characterized from a theoretical and experimental point of view. The thermal resistance in this state is characterized experimentally for ionic liquids, which are promising

for practical use due to the insignificant vapor pressure. To assess the reliability of the interface in the case of continuous switching at relatively high switching frequencies, a service life test unit is designed.

Author Contribution Statement (CRediT Taxonomy): **Zh.A. Zhunusov:** Conceptualization (lead), Methodology, Investigation, Formal analysis, Validation, Supervision, Writing – Original Draft. **Arbi Y.:** Data curation, Visualization, Writing – Review & Editing. Both authors have read and approved the final version of the manuscript and agree to be accountable for all aspects of the work.

Funding. This research received no external funding.

Acknowledgment. The authors would like to thank the Karaganda Industrial University and Padang State University for providing academic support and a collaborative research environment that contributed to this study.

Copyright © 2026 by the author(s). This article is published as Open Access under the Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0) license. This license permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. Derivative works must be distributed under the same license.

REFERENCES

- [1] E. T. Swartz and R. O. Pohl, "Thermal boundary resistance," *Rev. Mod. Phys.*, vol. 61, pp. 605–668, 1989.
- [2] F. Yang and R. Pitchumani, "Thermal contact resistance between rough surfaces in the presence of thin interstitial films," *J. Heat Transfer*, vol. 124, pp. 1076–1083, 2002.
- [3] K. E. Goodson, "Thermal conduction in nonhomogeneous CVD diamond layers in electronic microstructures," *J. Heat Transfer*, vol. 118, pp. 279–286, 1996.
- [4] D. G. Cahill, W. K. Ford, K. E. Goodson, et al., "Nanoscale thermal transport," *J. Appl. Phys.*, vol. 93, no. 2, pp. 793–818, 2003. doi: 10.1063/1.1524305.
- [5] K. E. Goodson and Y. S. Ju, "Heat conduction in novel electronic films," *Annu. Rev. Mater. Sci.*, vol. 29, pp. 261–293, 1999. doi: 10.1146/annurev.matsci.29.1.261.
- [6] G. Binnig and H. Rohrer, "Scanning tunneling microscopy," *Surf. Sci.*, vol. 126, nos. 1–3, pp. 236–244, 1983. doi: 10.1016/0039-6028(83)90716-1.
- [7] E. Pop, D. Mann, Q. Wang, K. Goodson, and H. Dai, "Thermal conductance of an individual single-wall carbon nanotube above room temperature," *Nano Lett.*, vol. 6, no. 1, pp. 96–100, 2006. doi: 10.1021/nl052145f.
- [8] M. R. Sridhar and M. M. Yovanovich, "Review of elastic and plastic contact conductance models," *J. Thermophys. Heat Transfer*, vol. 10, no. 4, pp. 609–618, 1996.
- [9] DuPont, *Teflon® Fluoropolymer Handbook*. Wilmington, DE, USA: DuPont, 2010.
- [10] J. N. Israelachvili, *Intermolecular and Surface Forces*, 3rd ed. Oxford, U.K.: Academic Press, 2011.
- [11] F. P. Incropera, D. P. DeWitt, T. L. Bergman, and A. S. Lavine, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 6th ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2007.
- [12] S. S. Lingala, "Ionic-Liquid-Based Nanofluids and Their Heat-Transfer Applications: A Comprehensive Review," *ChemPhysChem*, vol. 24, no. 22, Art. no. e202300191, 2023. doi: 10.1002/cphc.202300191.

- [13] T. Zhou, C. Gui, L. Sun, Y. Hu, H. Lyu, Z. Wang, Z. Song, and G. Yu, "Energy Applications of Ionic Liquids: Recent Developments and Future Prospects," *Chem. Rev.*, vol. 123, no. 21, pp. 13295–13420, 2023. doi: 10.1021/acs.chemrev.3c00391.
- [14] G. A. Ulyeva and O. Mongolkhan, "Obzor novykh sovremennykh vysokotemperaturnykh materialov [Overview of New Modern High-Temperature Materials]," *Bulletin of the Karaganda State Industrial University*, vol. 48, no. 1, pp. 7–11, 2025. (In Russian). doi: 10.53002/001.
- [15] V. V. Povorotnyi, G. I. Tolstikov, I. G. Tolstikov, and O. O. Yaichuk, "Features of Modeling the Process of Researching the Thermally Stressed State of Bowls for Transporting Liquid Slag," *Bulletin of the Karaganda State Industrial University*, vol. 44, no. 1, pp. 7–17, 2024. (In Russian).

ИТ-ТЕХНОЛОГИИ, ЭНЕРГЕТИКА, АВТОМАТИЗАЦИЯ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

DOI: <https://www.doi.org/10.53002/114>

INTEGRATION OF BLOCKCHAIN TECHNOLOGIES INTO THE TRAIN DATA TRANSMISSION AND REPORTING SYSTEM

^{1*}Algazin A.S., ^{1*}Kalinin A.A., ²Bashirov A.V.

¹Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov, Karaganda, Kazakhstan

²Private Institution Karaganda University of Kazpotrebsoyuz, Karaganda, Kazakhstan

* Corresponding author email: a.kalinin@ktu.edu.kz

Author information:

Algazin A.Sh. - Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

Kalinin A.A. - Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan. E-mail: a.kalinin@ktu.edu.kz

Bashirov A.V. - Private institution Karaganda University of Kazpotrebsoyuz, Karaganda, Kazakhstan

Abstract. The article is devoted to the integration of blockchain technologies into the train data transmission and reporting system of JSC “NC “KTZ”. It examines the limitations of the centralized ISOD architecture and proposes a distributed ledger model that ensures data immutability, transparency, and cryptographic protection. The interaction scheme of ISOD modules with Trip Optimizer and E-telegram is described, as well as the mechanism for recording key events in the blockchain through XML message hashing. The advantages of a permissioned blockchain network, such as fault tolerance, increased trust between departments, and improved logistics quality, are demonstrated. The article concludes that blockchain implementation is justified within the digital transformation of the railway sector.

Keywords: blockchain, distributed ledger, ISOD, logistics, KTZ, train data, smart contracts, ERP, SCM, transport integration.

ПОЕЗД ДЕРЕКТЕРІН БЕРУ ЖӘНЕ ЕСЕПТІЛІК ЖҮЙЕСІНЕ БЛОКЧЕЙН ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ИНТЕГРАЦИЯЛАУ

^{1*}Алгазин А.Ш., ^{1*}Калинин А.А., ²Баширов А.В.

¹ Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан

² Қазтұтынуодағы Қарағанды университеті жеке мекемесі, Қарағанды, Қазақстан

*Корреспондент автор е-mail: a.kalinin@ktu.edu.kz

Авторлар туралы ақпарат:

Алгазин А.Ш. - Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан

А.А. Калинин - Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан, E-mail: a.kalinin@ktu.edu.kz

Баширов А.В. - Қазтұтынуодағы Қарағанды университеті жеке мекемесі, Қарағанды, Қазақстан

Аңдатпа. Мақала «ҚТЖ» ҰК» АҚ-ның поезд деректерін беру және есептілік жүйесіне блокчейн технологияларын интеграциялауға арналған. ИСОД-тың орталықтандырылған архитектурасының шектеулері қарастырылып, деректердің өзгермейтіндігін, ашықтығын және криптографиялық қорғалуын қамтамасыз ететін таратылған тізілім моделі ұсынылады. ИСОД модульдерінің Trip Optimizer және E-telegram жүйелерімен өзара әрекеттесу сұлбасы, сондай-ақ XML хабарламаларын хештеу арқылы блокчейнде негізгі оқиғаларды тіркеу тетігі сипатталған. Рұқсат етілген блокчейн желісінің ақауға төзімділік, бөлімшелер арасындағы сенімді арттыру және логистикалық үдерістердің сапасын жақсарту сияқты артықшылықтары көрсетілген. Теміржол саласының цифрлық трансформациясы аясында блокчейнді енгізудің орынды екендігі туралы қорытынды жасалған.

Түйін сөздер: блокчейн, таратылған тізілім, ИСОД, логистика, ҚТЖ, поезд деректері, смарт-келісімшарттар, ERP, SCM, көлік интеграциясы.

ИНТЕГРАЦИЯ БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМУ ПЕРЕДАЧИ ПОЕЗДНЫХ ДАННЫХ И ОТЧЁТНОСТИ

^{1*}Алгазин А.Ш., ^{1*}Калинин А.А., ²Баширов А.В.

¹ Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан

² Частное учреждение Карагандинский университет Казпотребсоюза, Караганда, Казахстан

*Корреспондент автор e-mail: a.kalinin@ktu.edu.kz

Информация об авторах:

Алгазин А.Ш. - Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан

А.А. Калинин - Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан,
E-mail: a.kalinin@ktu.edu.kz

Баширов А.В. - Частное учреждение «Карагандинский университет Казпотребсоюза», Караганда, Казахстан

Аннотация. Статья посвящена интеграции блокчейн-технологий в систему передачи поездных данных и отчётности АО «НК «КТЖ». Рассматриваются ограничения централизованной архитектуры ИСОД и предлагается модель распределённого реестра, обеспечивающая неизменяемость, прозрачность и криптографическую защиту данных. Описана схема взаимодействия модулей ИСОД с Trip Optimizer и E-telegram, а также механизм фиксации ключевых событий в блокчейне посредством хеширования XML-сообщений. Показаны преимущества разрешённой блокчейн-сети, такие как отказоустойчивость, повышение доверия между подразделениями и улучшение качества логистических процессов. Сделан вывод о целесообразности внедрения блокчейна в рамках цифровой трансформации железнодорожной отрасли.

Ключевые слова: блокчейн, распределённый реестр, ИСОД, логистика, КТЖ, поездные данные, смарт-контракты, ERP, SCM, транспортная интеграция.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Предложена модель интеграции технологии блокчейн в систему передачи поездных данных и отчётности АО «НК «КТЖ» на основе разрешённого распределённого реестра. Показано, что применение блокчейн-технологии обеспечивает неизменяемость, прозрачность и криптографическую защиту данных посредством фиксации ключевых событий и хеширования XML-сообщений при взаимодействии модулей ИСОД, Trip Optimizer и E-telegram. Разработанный подход повышает надёжность информационного обмена, отказоустойчивость системы и доверие между подразделениями, способствуя цифровой трансформации железнодорожной отрасли.

ВВЕДЕНИЕ

Современные железнодорожные компании активно цифровизируют бизнес-процессы для повышения эффективности перевозок и оптимизации расходов. В рамках госпрограммы «Цифровой Казахстан» АО «НК «КТЖ» реализует проект «Цифровая железная дорога», нацеленный на автоматизацию ключевых процессов (электронная коммерция, промышленный интернет, аналитика больших данных). Значительное внимание уделяется оптимизации документооборота и учёту подвижного состава (например, внедрение интегрированных систем диспетчеризации и

управления парком поездов). Однако существующие решения по-прежнему основаны на централизованных базах данных, где информация может фрагментироваться между узлами и подвергаться риску искажения.

Информационные потоки становятся неотъемлемой частью логистики, и при множестве участников цепочки появляются риски рассогласований данных и задержек. Текущие показатели качества и эффективности перевозок остаются не всегда приемлемыми, что стимулирует поиск новых цифровых решений. Одной из перспективных технологий является блокчейн - децентрализованная технология записи транзакций с неизменяемостью данных. Блокчейн способен снизить затраты и препятствовать фальсификации информации, ускоряя обработку перевозочных запросов. При этом реализация блокчейна в логистических системах сталкивается с дополнительными организационными и техническими вызовами, требующими адаптации существующей инфраструктуры [1, 2].

Пробел в исследованиях. Несмотря на активное внедрение цифровых технологий в железнодорожной отрасли, существующие исследования преимущественно рассматривают применение блокчейн-технологий в управлении цепями поставок, логистике и смарт-контрактах. Вопросы интеграции блокчейна в системы передачи поездных данных и оперативной

отчётности железнодорожной инфраструктуры остаются недостаточно изученными. Кроме того, отсутствуют комплексные решения, обеспечивающие совместную работу существующих информационных систем с распределённым реестром без существенной модификации действующей архитектуры.

Научная новизна. Научная новизна работы заключается в разработке модели интеграции разрешённой блокчейн-сети в существующую архитектуру ИСОД АО «НК «КТЖ» с использованием механизма криптографического хеширования XML-сообщений и регистрации ключевых событий в распределённом реестре. Предлагаемый подход обеспечивает неизменяемость данных, повышает отказоустойчивость системы и сохраняет совместимость с действующими модулями Trip Optimizer и E-telegram.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

В настоящее время в АО «НК «КТЖ» разрабатывается Интеграционная система обработки данных (ИСОД), которая предназначена для создания единого источника обработки данных, для формирования сообщений, гарантированной доставки сообщений при интеграции с внешними системами и обеспечения необходимыми данными ИС АО «НК «КТЖ». В состав ИСОД входят 3 модуля: Модуль «Передача поездных данных», Модуль «Интеграция с E-telegram», Модуль

«Отчетность».

Целью создания Модуля «Передача поездных данных» является разработка B2B-интерфейса для программного решения Trip Optimizer в части автоматизированного формирования и передачи поездных данных, необходимых для обработки приложением Trip Optimizer. Модуль получает информацию о предстоящих рейсах из внутренних систем (например, АСОУП через БД REPLWIN) и формирует соответствующие XML-сообщения: «Маршрут поезда», «Состав поезда» и «Удаление поезда». Затем XML-файлы отправляются в систему Trip Optimizer через надёжный канал обмена сообщениями (например, IBM WebSphere MQ). Цель модуля — автоматизировать B2B-интерфейс с Trip Optimizer: обеспечивать своевременное предоставление данных о поездках (состав, маршрут) для оптимизации движения локомотивов.

Модуль «Интеграция с E-telegram» отвечает за обмен данными с системой E-telegram, которая распространяет информацию об ограничениях движения (предупреждения, допустимые

скорости и ведомости ограничений) на сети КТЖ. Модуль обеспечивает приём уведомлений об ограничениях из E-telegram, затем конвертирует и передаёт их в Trip Optimizer. Например, при поступлении новых данных о дорожных ограничениях формируются XML-файлы «Ограничения» и «Ведомость ограничений», которые также отправляются в систему оптимизации маршрутов для учёта при планировании движения.

Модуль «Отчётность» интегрируется с Trip Optimizer в части получения отчётных данных о выполненных рейсах, анализирует их и формирует аналитическую отчётность. Это может включать статистику по соблюдению расписаний, расходу топлива, временным задержкам и другим метрикам. Цель — предоставление руководству и операторам достоверной информации для принятия управленческих решений и улучшения планирования перевозок.

ПО ИСОД реализовано в виде серверного java-приложения. По определенным событиям с поездами (готовность поезда к отправлению на станции формирования и смены локомотивных бригад, изменение состава поезда, изменение номера или индекса поезда, замена локомотива, прибытие на станцию назначения) модуль «Передача поездных данных» на основании таблиц L_TEKN, P_TEKN, V_TEKN формирует xml-сообщения (Маршрут поезда, Состав поезда, Удаление поезда) и отправляет посредством IBM WebSphere MQ 9.2 в Trip Optimizer.

При формировании xml-сообщения «Маршрут поезда» Модуль ИСОД «Интеграция с E-telegram» отправляет сообщение через REST-client в ИС «E-telegram», в ответ получает xml-сообщение

«Ведомость ограничений» на этот поезд, которое отправляет посредством IBM WebSphere MQ 9.2 в Trip Optimizer. Модуль ИСОД «Интеграция с E-telegram» получает сообщения «Ограничения» от ИС

«E-telegram» на REST-service по мере их появления в системе «E-telegram».

Интеграция ИСОД приведена на рисунке 1.

Модуль «Передача поездных данных» обеспечивает:

- интеграцию с системой АСОУП (через БД REPLWIN), Модулем «Интеграция с E-telegram» ИСОД и внешней системой Trip Optimizer;

- автоматизацию обработки входной информации из БД REPLWIN (репликационная копия данных АСОУП) по определенным событиям с поездами (готовность поезда к отправлению на станции формирования, изменение состава поезда, изменение номера или

индекса поезда, прибытие на станцию назначения) и формирование соответствующих xml-файлов (маршрут поезда; состав поезда; удаление поезда);

- автоматическую отправку в систему Trip Optimizer вышеперечисленных xml-файлов посредством IBM WebSphere MQ 9.2.

Модуль «Интеграция с E-telegram» обеспечивает:

- автоматическую отправку в Модуль «Интеграция с E-telegram» xml-файла - Маршрут поезда через REST;
- получение с E-telegram, запись в БД ИСОД и отправку xml-сообщений «Ограничения» в Trip Optimizer в Online-режиме;
- получение с E-telegram, запись в БД ИСОД и отправку xml-сообщений «Ведомость ограничений» на поезда в Trip Optimizer;
- автоматизированную отправку в
- систему Trip Optimizer вышеперечисленных xml-файлов посредством

IBM WebSphere MQ 9.2.

Модуль «Отчетность» обеспечивает:

- прием отчетных данных из системы Trip Optimizer;
- анализ и формирование выходных форм;
- формирование журнала сообщений;
- просмотр информации сообщений по выбранным критериям.

Канал связи между локомотивом и Сервером системы Trip Optimizer необходим для получения информации для движения локомотива по заданному участку в режиме автоведения.

В рамках обеспечения прозрачности передачи и получения данных организован промежуточный сервер для прохождения трафика между ИСОД, сетью оператора связи и серверами системы Trip Optimizer согласно рисунку 1.

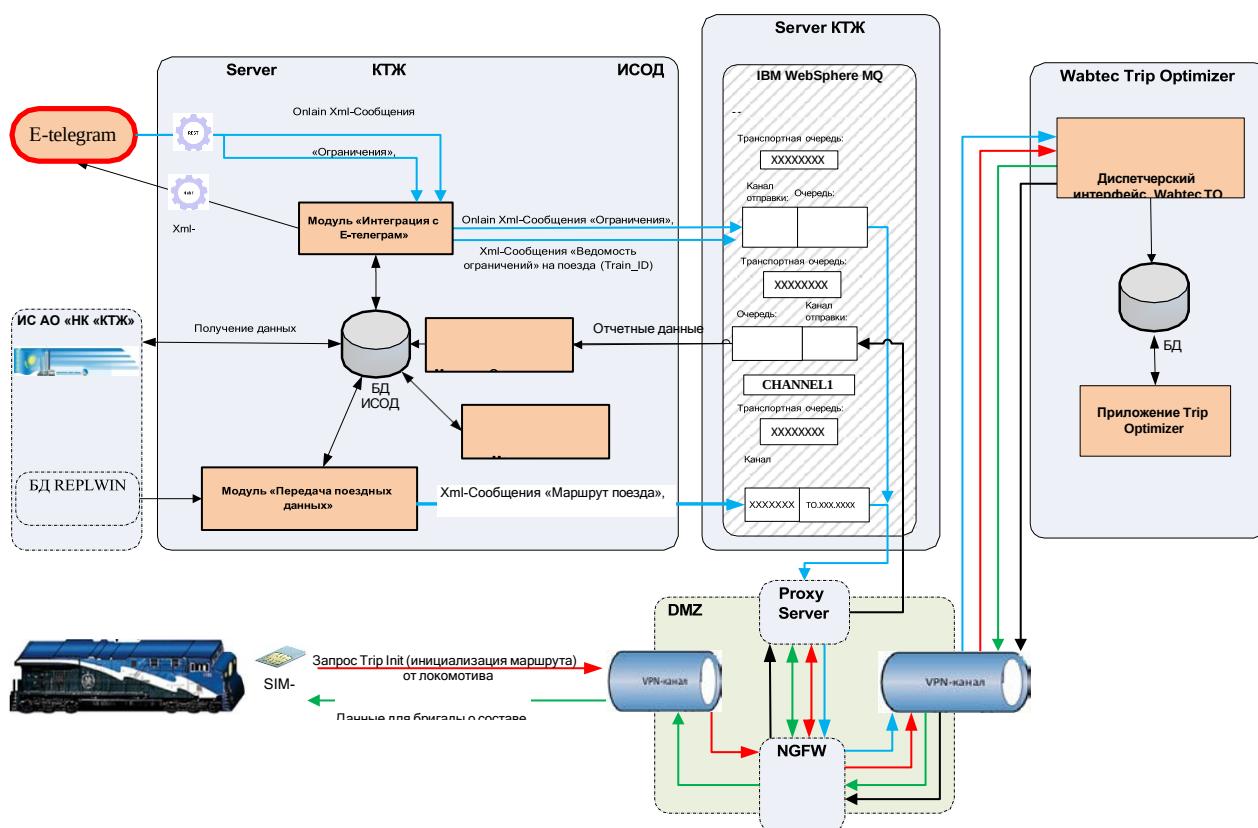


Рисунок 1 - Интеграционная схема ИСОД

Технически ИСОД строится на централизованной архитектуре: используется СУБД IBM DB2 для хранения данных, сервер приложений WildFly и обмен сообщениями по IBM MQ. Обмен XML-сообщениями с Trip Optimizer и E-telegram организован через REST и очереди сообщений, что обеспечивает надёжную передачу данных. Функциональная схема ИСОД основана на единой базе данных и центральных

сервисах, которые формируют и отправляют сообщения по событиям (готовность поезда к отправлению, поступление сведений об ограничениях и т.д.), а также собирают результаты для отчёта.

Интеграция блокчейна в существующие процессы. Предлагается добавить к архитектуре ИСОД уровень распределённого реестра (блокчейн). Основная идея заключается в том,

чтобы при ключевых событиях (например, при генерации и отправке каждого XML-сообщения) одновременно создавать запись в блокчейн-сети. Для этого каждому модулю или промежуточному шлюзу (gateway) присваивается функция фиксации события: шлюз вычисляет криптографический хеш содержимого XML-сообщения (или других данных), добавляет метаданные (время, идентификатор отправителя/модуля) и отправляет транзакцию в блокчейн.

В корпоративной среде предпочтительно использовать разрешённую (permissioned) блокчейн-сеть. Участники консорциума (например, ЦДАЦ, филиалы КТЖ и технические центры) разворачивают узлы блокчейна, каждый из которых хранит копию реестра. Механизм консенсуса (например, Proof-of-Authority или аналогичные) обеспечивает валидацию транзакций. Благодаря этому каждая новая запись проверяется сразу несколькими узлами, и данные становятся незаменяемыми: любые изменения задним числом приведут к несоответствию хешей. Такой подход исключает единую точку отказа – даже при недоступности части узлов остальные продолжают поддерживать актуальную копию журнала.

Техническая реализация интеграции предполагает подключение ИСОД через специальный шлюз данных. Этот шлюз получает события от модулей ИСОД (через API или выходы очередей), подписывает транзакции и отправляет их в блокчейн-сеть. Например, при формировании XML

«Маршрут поезда» модуль «Передача поездных данных» отправляет сообщение в Trip Optimizer, а одновременно шлюз блокчейн-интеграции берёт хеш этого XML и логирует событие на блокчейне. Аналогично, модуль «Интеграция с E-telegram» при получении ограничения создает запись в реестре с хешем полученной информации. Для связи с существующими системами подходят такие платформы, как Hyperledger Fabric или Quorum, где доступны контролируемые права узлов, настройка разрешений и отказоустойчивое хранение логов.

Таким образом, блокчейн вводится как дополнительный уровень аудита: все важные обмена сообщениями между ИСОД и внешними системами фиксируются в распределённом реестре [3, 4]. Остальные части ИСОД могут остаться без существенных изменений – встраивание новых записывающих коннекторов осуществляется параллельно с текущими каналами обмена. Это позволяет сохранить работоспособность существующей схемы и

одновременно обеспечить надёжный журнал событий.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В сравнении текущей централизованной модели ИСОД с децентрализованной на основе блокчейна можно выделить несколько ключевых отличий и преимуществ. В централизованной системе все сообщения (поездные маршруты, ограничения, отчёты) собираются в единой базе данных организации. Это упрощает обработку информации внутри компании, но создаёт риски: серверы с базой данных могут выйти из строя или стать объектами атак, а в случае изменений или ошибок невозможно мгновенно проверить, кем и когда они были внесены. Кроме того, доверие к данным зависит от центрального администратора, а синхронизация информации между разными участниками (филиалами, депо, поставщиками) может быть неполной.

В децентрализованной модели данные распределяются между несколькими узлами блокчейна и согласуются через протокол консенсуса. Такое решение обеспечивает дополнительные гарантии [5, 6, 7, 8]: неизменяемость данных. Каждая транзакция блокчейна содержит криптографический хеш предыдущего блока. Поэтому запись в реестре нельзя скрыто изменить – любое изменение приведет к несовпадению хешей. Это исключает тайную правку истории данных: при проверке блокчейн-узлы сразу обнаружат, если кто-то пытался скорректировать переданные сообщения или отчёты.

Криптографическая защита. В блокчейне используется шифрование и цифровые подписи. При логировании сообщения вычисляется хеш XML и связывается с адресом отправителя (адресом аккаунта или ролью модуля). Таким образом гарантируется аутентичность источника: невозможно симитировать запись от имени другого участника без соответствующих ключей. Кроме того, сами данные хранятся таким образом, что их нельзя восстановить из хеша, сохраняя конфиденциальность содержимого.

Прозрачность и достоверность. Распределённый журнал доступен всем уполномоченным участникам сети. Каждый узел имеет идентичную копию всей истории транзакций. Все подразделения компании и партнёры могут самостоятельно проверить целостность и хронологию обмена сообщениями без обращения к центральному серверу. Это повышает доверие между сторонами: нет необходимости полагаться на отчёты или выгрузки из единой БД, поскольку каждый может свериться с записями блокчейна.

Отказоустойчивость. Благодаря распределённой архитектуре блокчейна отсутствует единственная точка отказа. Если один или несколько узлов выходят из строя, остальные продолжают поддерживать целостную копию реестра и могут оперативно восстановить работу сети. Это повышает надёжность системы передачи данных, особенно в критичных ситуациях, когда перерыв в работе недопустим (например, при крупных сбоях ж/д сети или кибератаке на центральный сервер).

Именно эти преимущества делают блокчейн-технологии привлекательной для логистических приложений. Сквозная проверяемость и неизменяемость данных позволяют оперативно выявлять и предотвращать мошенничество или ошибочные изменения графиков. К тому же прозрачность истории поездных операций способствует ускорению процессов расследования инцидентов и повышению уровня доверия среди участников цепочки поставок.

Текстовое описание предлагаемой схемы работы системы: все основные компоненты ИСОД сохраняются, но к ним добавляется слой распределённого реестра. Модуль «Передача поездных данных» формирует XML-файлы маршрутов и сразу отправляет их в Trip Optimizer; одновременно шлюз блокчейн-интеграции вычисляет их хеш и инициирует транзакцию в сеть. В транзакции указываются время, идентификатор поезда (или сообщение), хеш XML и адрес отправителя (например, роль модуля или код станции). Узлы блокчейна (например, сертифицированные сервера в ЦДАЦ и депо) проверяют транзакцию по цифровой подписи и включают её в блок посредством общего протокола. Модуль «Интеграция с E-telegram» аналогично при получении ограничений создаёт запись в блокчейне с данными о предупреждениях (временной меткой и хешем содержания). Модуль

«Отчётность» может фиксировать результаты выполнения рейсов: при поступлении отчётных данных из Trip Optimizer создаётся транзакция с хешем этих данных. Таким образом, в блокчейн заносится полная история обмена сообщениями между системами.

Блокчейн внедряется без разрыва существующих процессов: блокчейн-журнал формируется синхронно с текущими операциями, при этом сами бизнес-процессы работы ИСОД с Trip Optimizer и E-telegram остаются прежними. В результате достигается сквозная прослеживаемость и неизменяемость данных. Упрощается аудит: любое полученное сообщение можно сверить с записью в блокчейне – если хеш совпадает, значит сообщение не было изменено.

Это снимает необходимость сложных процедур проверки корректности переписки между системами.

В целом, децентрализованное решение обеспечивает более высокую надёжность и доверие по сравнению с чисто централизованной моделью. Ключевые транзакции становятся публично верифицируемыми внутри консорциума КТЖ, и любой узел сети может в реальном времени отслеживать ход событий. Это особенно важно при взаимодействии разных подразделений АО «НК

«КТЖ» и внешних подрядчиков, поскольку снижает риски разногласий данных и ускоряет процесс обмена информацией.

ВЫВОДЫ

Внедрение технологии блокчейн в систему передачи поездных данных и отчётности АО «НК

«КТЖ» открывает новые перспективы для цифровой логистики. Блокчейн обеспечивает неизменность и прозрачность информационного обмена, что критически важно при взаимодействии множества участников в железнодорожной цепочке. Реализация разрешённой блокчейн-сети позволит устранить риски, присущие централизованным БД (сбой сервера, несанкционированная правка данных), и повысить отказоустойчивость системы.

Для АО «НК «КТЖ» это означает возможность получить более надёжную инфраструктуру обмена данными о планировании и выполнении рейсов. Поскольку каждая операция фиксируется в блокчейне навсегда, снижается вероятность ошибок и мошеннических изменений. Ускоряется согласование информации между диспетчерами, инженерами и машинистами: вместо разбора несостыковок в документах достаточно сверить данные с распределённым реестром. Таким образом, блокчейн способствует более эффективному управлению перевозками и повышению качества логистических услуг.

В контексте программы «Цифровая железная дорога» интеграция блокчейна становится логичным шагом развития информационной инфраструктуры КТЖ. Она позволит объединить существующие ERP/SCM-системы и модули ИСОД в единую доверенную экосистему. В перспективе это приведёт к снижению операционных затрат, минимизации задержек из-за неточностей в данных и укреплению позиций КТЖ как технологического лидера отрасли.

Таким образом, блокчейн-технологии могут стать ключевым элементом цифровой трансформации железнодорожной логистики,

обеспечивая надёжность учёта и прозрачность операций на всех этапах движения грузов и локомотивов.

Авторский вклад (таксономия CRediT):

А.Ш.Алгазин: концептуализация, разработка методологии, исследование, анализ результатов, написание первоначального варианта рукописи.

А.А.Калинин: формальный анализ, разработка архитектуры интеграции блокчейн-технологии, валидация технических решений, научное редактирование и подготовка окончательной версии статьи. **А.В.Баширов:** анализ литературы, интерпретация результатов, визуализация материалов, рецензирование и редактирование рукописи. Все авторы ознакомились с окончательной версией статьи, одобрили её к публикации и несут ответственность за достоверность представленных результатов.

Финансирование. Исследование выполнено без привлечения внешнего финансирования.

Благодарности. Авторы выражают благодарность АО «Национальная компания «Қазақстан темір жолы» за консультационную поддержку и предоставленную информацию о функционировании системы передачи поездных данных, а также коллегам Карагандинского технического университета имени Абылкаса Сагинова и Карагандинского университета Казпотребсоюза за научное сотрудничество при подготовке исследования.

Авторское право © 2026 принадлежит автору(ам). Данная статья распространяется на условиях открытого доступа в соответствии с лицензией Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0). Лицензия разрешает свободное использование, распространение и воспроизведение в любой форме при условии обязательного указания авторства и сохранения той же лицензии для производных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Бажина М. А. Применение смарт-контрактов в транспортно-логистической деятельности: особенности правового регулирования // Проблемы частноправового и публично-правового регулирования транспортной деятельности: материалы VI Всероссийской научно-практической конференции. Уфа, 2023.
- [2] Назаров М. Ю. В смешанной перевозке: правовое регулирование смешанной перевозки груза посредством смарт-контракта // International Law Journal. 2023. № 8. С. 94–99.
- [3] Полешкина И. О., Васильева Н. В. Технология blockchain как инструмент управления цепями поставок с участием воздушного транспорта // Научный вестник МГТУ ГА. 2020. С. 72–86.
- [4] Alqarni M. A., Alkathiri M. S., Chauhdary S. H., Saleem S. Use of Blockchain-Based Smart Contracts in Logistics and Supply Chains // Electronics. 2023. Vol. 12, No. 6. Art. 1340. DOI: 10.3390/electronics12061340.
- [5] Aslam J., Lai K. H., Kim Y. B., Treiblmaier H. The Implications of Blockchain for Logistics Operations and Sustainability // Journal of Innovation and Knowledge. 2024. Vol. 9, No. 4. Art. 100611. DOI: 10.1016/j.jik.2024.100611.
- [6] Lantz L., Carwey D. Mastering Blockchain. Sebastopol, CA, USA: O'Reilly Media, Inc., 2020.
- [7] Gelmanova Z., Latypova M., Volokitina I., Fayeze Wazani A., Davletshin I. Risk-Oriented Approach to Inventory Management of a Processing Enterprise: From Accounting to Strategic Decisions (on the Example of Qarmet LLC Recycling) // Bulletin of the Karaganda State Industrial University. 2025. Vol. 50, No. 3. Pp. 131–139. DOI: 10.53002/079.
- [8] Hong Z., Shen H., Sun W., Zhang J., Liang H., Zhao G. Research on the Location-Routing Optimization of International Freight Trains Considering the Implementation of Blockchain // Mathematics. 2024. Vol. 12, No. 23. Art. 3797. DOI: 10.3390/math12233797.

REFERENCES

- [1] M. A. Bazhina, "Primenenie smart-kontraktov v transportno-logisticheskoi deyatel'nosti: osobennosti pravovogo regulirovaniya [Application of Smart Contracts in Transport and Logistics Activities: Features of Legal Regulation]," in Proc. VI All-Russian Sci. Pract. Conf. "Problems of Private-Law and Public-Law Regulation of Transport Activities," Ufa, Russia, 2023. (In Russian).
- [2] M. Yu. Nazarov, "V smeshannoi perevozke: pravovoe regulirovanie smeshannoi perevozki gruzha posredstvom smart-kontrakta [Legal Regulation of Multimodal Cargo Transportation through Smart Contracts]," International Law Journal, no. 8, pp. 94–99, 2023. (In Russian).
- [3] I. O. Poleshkina and N. V. Vasilyeva, "Tekhnologiya blockchain kak instrument upravleniya tsepyami postavok s uchastiem vozdušnogo transporta [Blockchain Technology as a Tool for Supply Chain Management Involving Air Transport]," Nauchnyi Vestnik MGTU GA [Scientific Bulletin of Moscow State Technical University of Civil Aviation], pp. 72–86, 2020. (In Russian).
- [4] M. A. Alqarni, M. S. Alkathiri, S. H. Chauhdary, and S. Saleem, "Use of Blockchain-Based Smart Contracts in Logistics and Supply Chains," Electronics, vol. 12, no. 6, Art. no. 1340, 2023. doi: 10.3390/electronics12061340.

- [5] J. Aslam, K. H. Lai, Y. B. Kim, and H. Treiblmaier, "The Implications of Blockchain for Logistics Operations and Sustainability," *Journal of Innovation and Knowledge*, vol. 9, no. 4, Art. no. 100611, 2024. doi: 10.1016/j.jik.2024.100611.
- [6] L. Lantz and D. Carwey, *Mastering Blockchain*. Sebastopol, CA, USA: O'Reilly Media, Inc., 2020.
- [7] Z. Gelmanova, M. Latypova, I. Volokitina, A. F. Wazani, and I. Davletshin, "Risk-Oriented Approach to Inventory Management of a Processing Enterprise: From Accounting to Strategic Decisions (on the Example of Qarmet LLC Recycling)," *Bulletin of the Karaganda State Industrial University*, vol. 50, no. 3, pp. 131–139, 2025. doi: 10.53002/079.
- [8] Z. Hong, H. Shen, W. Sun, J. Zhang, H. Liang, and G. Zhao, "Research on the Location-Routing Optimization of International Freight Trains Considering the Implementation of Blockchain," *Mathematics*, vol. 12, no. 23, Art. no. 3797, 2024. doi: 10.3390/math12233797.

IT ТЕХНОЛОГИЯЛАР, ЭНЕРГЕТИКА, АВТОМАТИКА ЖӘНЕ ЕСЕПТЕУ ТЕХНИКАСЫ

DOI: <https://www.doi.org/10.53002/115>

FEATURES OF THE DESIGN AND ELECTRIC DRIVE OF FLYING SHEARS OF HOT ROLLING MILLS

^{1*}*Batyrbek A.E., ¹Sivyakova G.A., ²Tytyuk V.K., ³Mamirov U.F.*¹*Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan*²*Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine*³*Islam Karimov Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan*** Corresponding author e-mail: g.sivyakova@tttu.edu.kz*

Author information:

Batyrbek A.E. - Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan. E-mail: a.batyrbek@tttu.edu.kz, g.sivyakova@tttu.edu.kz**Sivyakova G.A.** - Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan. E-mail: g.sivyakova@tttu.edu.kz**Tytyuk V.K.** - Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine. E-mail: tytiuk@knu.edu.ua**Mamirov U.F.** - Islam Karimov Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan. E-mail: uktammamirov@gmail.com

Abstract. This article provides an overview of the design features and electric drive of existing hot rolling flying shears, which is the basis of the doctoral thesis “Automation of the rolling cutting process on hot rolling flying shears”. The article presents the main task of rolling production, the purpose and technical requirements for the design and electric drive of flying shears. The designs and electric drive of existing flying shears are considered. There are the following main types of flying shears: drum, crank, swing, pendulum, and planetary. Three types of motors are also considered: asynchronous motor, synchronous motor, and DC motor, which would meet the technical requirements for this technological mechanism. A study of the design and electric drive of flying shears has shown a number of advantages and disadvantages. An analysis of the results of the study showed that the best choice is a pair of drum shears. Since the drums rotate evenly at a constant speed and the rotating masses are fully balanced, they allow cutting at significantly higher speeds than other types of shears. An independently actuated DC motor was chosen as the electric drive of the flying shears, as it has a large control range, smoothness, efficiency, speed stability, load tolerance at various speeds, and rigidity of the mechanical characteristics that meet the technical and technological requirements for the electric drive.

Keywords: hot rolling, flying drum shears, electric drive, mill, DC motor, dynamic loads, automation of the cutting process.

ЫСТЫҚ ИЛЕМДЕУ ОРНАҒЫНЫҢ ҰШҚЫР ҚАЙШЫЛАРЫНЫҢ ҚҰРЫЛЫМЫ МЕН ЭЛЕКТР ЖЕТЕГІНІҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

^{1*}*Батырбек Ә.Е., ¹Сивякова Г.А., ²Тытук В.К., ³Мамиров У.Ф.*¹*Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан*²*Криворожье ұлттық университеті, Кривой Рог, Украина*³*Ислам Каримов атындағы Ташкент мемлекеттік техникалық университеті,
Ташкент, Өзбекстан*** Автор-корреспондент e-mail: g.sivyakova@tttu.edu.kz*

Авторлар туралы ақпарат:

Батырбек Ә.Е. - Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан. E-mail: a.batyrbek@tttu.edu.kz**Сивякова Г.А.** - Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан. E-mail: g.sivyakova@tttu.edu.kz**Тытук В.К.** - Криворожье ұлттық университеті, Кривой Рог, Украина. E-mail: tytiuk@knu.edu.ua**Мамиров У.Ф.** - Ислам Каримов атындағы Ташкент мемлекеттік техникалық университеті, Ташкент, Өзбекстан. E-mail: uktammamirov@gmail.com

Аңдатпа. Мақалада «Ыстық илемдеу орнағының ұшқыр қайшыларында илемдерді кесу үдерісін автоматтандыру» докторлық диссертациясының негізі болып табылатын қолданыстағы ыстықтай илемдеу ұшқыр қайшыларының құрылымы мен электр жетегінің ерекшеліктеріне шолу берілген. Мақалада илемдеу өндірісінің негізгі міндеті, ұшқыр қайшының құрылымы мен электр жетегіне қойылатын мақсаты мен техникалық талаптары келтірілген. Қолданыстағы ұшқыр қайшылардың құрылымы мен электр жетегі қарастырылған. Ұшқыр қайшылардың келесі негізгі түрлері бар: барабанды, иінді-шатунды, тербелмелі, маятникті және планетарлық. Сондай-ақ, қозғалтқыштардың үш түрі қарастырылды: асинхронды қозғалтқыш, синхронды қозғалтқыш және осы технологиялық механизмге қойылатын техникалық талаптарға сәйкес келетін тұрақты ток қозғалтқышы. Ұшқыр қайшының құрылымы мен электр жетегін зерттеу бірқатар артықшылықтар мен кемшіліктерді көрсетті. Нәтижелерді талдау зерттеу барабанды қайшылар ең жақсы таңдау екенін көрсетті. Барабандар тұрақты жылдамдықпен біркелкі айналатындықтан және айналымды жоғары жылдамдықпен кесуге мүмкіндік береді. Ұшқыр қайшының электр жетегі ретінде тәуелсіз қозуы бар тұрақты ток қозғалтқышы таңдалды, өйткені оның үлкен реттеу диапазоны, тегістігі, үнемділігі, жылдамдық тұрақтылығы, әртүрлі жылдамдықтардағы рұқсат етілген жүктеме, электр жетегіне қойылатын техникалық және технологиялық талаптарды қанағаттандыратын механикалық сипаттамалардың қаттылығы бар.

Түйін сөздер: ыстықтай илемдеу, ұшқыр барабанды қайшылар, электр жетегі, орнақ, тұрақты ток қозғалтқышы, динамикалық жүктемелер, кесу үрдісін автоматтандыру.

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ И ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЛЕТУЧИХ НОЖНИЦ СТАНОВ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ

^{1*}Батырбек Ә.Е., ¹Сивякова Г.А., ²Тытук В.К., ³Мамиров У.Ф.

¹Қарағанды мемлекеттік индустриялық университет, Темиртау, Қазақстан

²Криворожский национальный университет, Кривой Рог, Украина

³Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, Ташкент, Узбекистан

* Автор-корреспондент e-mail: g.sivyakova@tttu.edu.kz

Информация об авторах:

Батырбек Ә.Е. - Қарағанды мемлекеттік индустриялық университет, Темиртау, Қазақстан. E-mail: a.batyrbek@tttu.edu.kz

Сивякова Г.А. - Қарағанды мемлекеттік индустриялық университет, Темиртау, Қазақстан. E-mail: a.batyrbek@tttu.edu.kz, g.sivyakova@tttu.edu.kz

Тытук В.К. -Криворожский национальный университет, Кривой Рог, Украина. E-mail: tytiuk@knu.edu.ua

Мамиров У.Ф. - Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, Ташкент, Узбекистан. E-mail: uktammamirov@gmail.com

Аннотация. В данной статье представлен обзор особенностей конструкции и электропривода существующих летучих ножниц горячей прокатки, которая является основой докторской диссертации «Автоматизация процесса резки проката на летучих ножницах стана горячей прокатки». В статье приводятся основная задача прокатного производства, предназначение и технические требования к конструкции и электроприводу летучих ножниц. Рассмотрены конструкции и электропривод существующих летучих ножниц. Существуют следующие основные типы летучих ножниц: барабанные, кривошипно-шатунные, качающиеся, маятниковые и планетарные. А также рассмотрены три вида двигателей: асинхронный двигатель, синхронный двигатель и двигатель постоянного тока, который соответствовал бы техническим требованиям, предъявляемым к данному технологическому механизму. Исследование конструкции и электропривода летучих ножниц показало ряд преимуществ и недостатков. Анализ результатов исследования показал, что оптимальным выбором является барабанные ножницы. Так как барабаны вращаются равномерно с постоянной скоростью и вращающиеся массы полностью уравновешены, то они позволяют вести порезку на значительно больших скоростях, чем другие типы ножниц. В качестве электропривода летучих ножниц выбрана ДПТ с независимым возбуждением, так как он имеет большой диапазон регулирования, плавность, экономичность, стабильность скорости, допустимая нагрузка при различных скоростях, жесткость механической характеристики, которые удовлетворяют технические и технологические требования к электроприводу.

Ключевые слова: горячая прокатка, летучие барабанные ножницы, электропривод, стан, двигатель постоянного тока, динамические нагрузки, автоматизация процесса резки.

НЕГІЗГІ ЕРЕЖЕЛЕР

Ыстықтай илемдеу орнақтарында қолданылатын ұшқыр қайшылардың конструкциялары мен электр жетектеріне салыстырмалы талдау жүргізіліп, жоғары жылдамдықта жұмыс істеу, айналмалы массалардың толық теңгерілуі және пайдалану сенімділігі бойынша барабанды ұшқыр қайшылардың артықшылықтары ғылыми негізделді. Сондай-ақ, ұшқыр қайшының электр жетегі ретінде кең реттеу диапазонын, жоғары жылдамдық тұрақтылығын және механикалық сипаттамасының қаттылығын қамтамасыз ететін тәуелсіз қоздырылатын тұрақты ток қозғалтқышын қолданудың тиімділігі дәлелденді.

КІРІСПЕ

Металды илемдеу — прокат өнімін өндіру процесінің негізгі технологиялық операциясы болып табылады. Қалған технологиялар илемдеу үрдісін жүзеге асыруға және илемнің қажетті сапасын алуға мүмкіндік береді. Илем өндірісінің техникасы үздіксіз илемдеу орнағының (қаңылтырлы, сортты, дайындамалық) кеңінен қолданылуы бағытында дамып келеді.

Зерттеу нысаны ыстық илемдеу орнағының ұшқыр қайшылары [1].

Ұшқыр қайшылар металды жоғары жылдамдықпен қозғалған кезде (үздіксіз режимде) кесуге арналған. Көптеген жағдайларда бұл қайшылардың өнімділігі илемдеу орнағының өнімділігін анықтайды.

Ұшқыр қайшыларға қойылатын негізгі техникалық талаптар:

1) кесілетін ұзындықтардың жоғары дәлдігін қамтамасыз ету;

2) берілген ұзындықтар қатарын алу;

3) орамды ұштарында бұралмай және иілмей кесу кезінде алынатын илем қимасының жақсы сапасын қамтамасыз ету [2, 3].

Ұшқыр қайшының электр жетегіне келесі талаптар қойылады:

1) үдеткіш кезінде пышақтардың берілген бұрылу бұрыштарында жетекті жұмыс жылдамдығына дейін үдету және тежеу;

2) қозғалтқышты көп қосу кезінде жетектің сенімді жұмысы;

3) пышақтардың бастапқы қалпын үлкен дәлдікпен бекіту;

4) агрегат машиналарымен бірге іске қосу, жылдамдықты біркелкі реттеу және қалыпты тоқтату;

5) олақ қозғалысының технологиялық жылдамдығы өзгерген кезде қозғалтқыштың

айналу жылдамдығын реттеу;

6) қайшы жетегінің реверсі [2, 3].

Автоматты реттеу техникасын дамыту, жаңа электр жабдықтарын құру автоматты реттеу жүйелерін қолдана отырып, ұшқыр қайшылардың көмегімен технологиялық талаптарды орындауға мүмкіндік берді. Айта кету керек, ұшқыр қайшылардың құрылымы автоматтандырылған электр жетегі жүйесін анықтайтын тән механизм болып табылады және керісінше, автоматтандырылған электр жетегі жүйесі ұшқыр қайшылардың құрылымы тандауды анықтайды. Мұны қазіргі уақытта кең таралған құрылымдардан және үздіксіз орнақтың ұшқыр қайшыларының электр жетек жүйелерінен көруге болады.

Зерттеудің маңыздылығы. Қазіргі ғылыми зерттеулерде ұшқыр қайшылардың жекелеген конструкциялық шешімдері немесе электр жетектерінің техникалық сипаттамалары қарастырылғанымен, ыстықтай илемдеу орнақтарында қолданылатын ұшқыр қайшылардың негізгі түрлерін олардың электр жетектерімен кешенді түрде салыстыра отырып бағалау жеткілікті деңгейде зерттелмеген. Сондай-ақ, нақты технологиялық талаптарды ескере отырып, құрылым түрі мен электр жетегінің оңтайлы үйлесімін ғылыми негіздеу мәселесі толық шешімін таппаған. Сондықтан аталған зерттеу осы олқылықтың орнын толтыруға бағытталған.

Зерттеудің жаңалығы. Зерттеудің ғылыми жаңалығы ыстықтай илемдеу орнақтарында қолданылатын барабанды, иінді-шатунды, тербелмелі, маятникті және планетарлық ұшқыр қайшылардың құрылымдық ерекшеліктері мен электр жетектеріне кешенді салыстырмалы талдау жүргізілуінде. Талдау нәтижесінде жоғары жылдамдықта жұмыс істеу, сенімділік, динамикалық жүктемелер және технологиялық талаптарды қамтамасыз ету тұрғысынан барабанды ұшқыр қайшылардың артықшылықтары негізделіп, олардың электр жетегі ретінде тәуелсіз қоздырылатын тұрақты ток қозғалтқышын қолданудың техникалық тиімділігі дәлелденді.

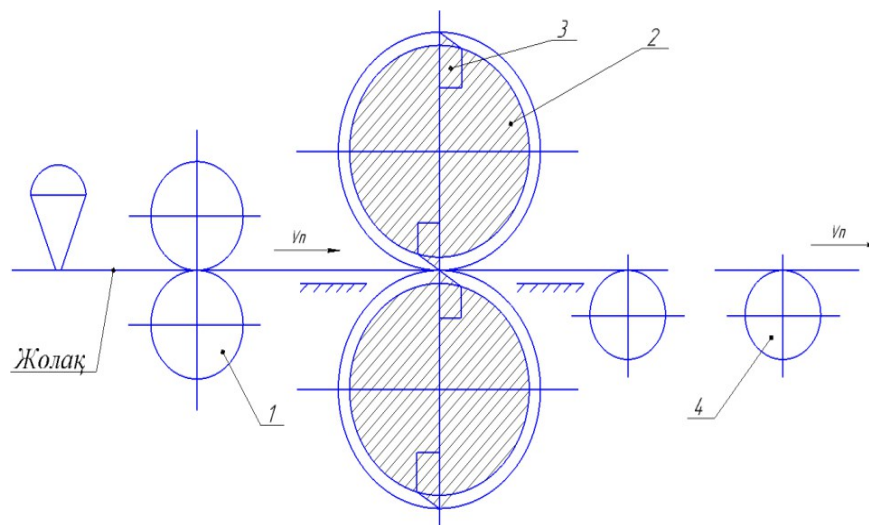
ӘДІСТЕР МЕН МАТЕРИАЛДАР

Жұмыстың негізі ретінде қолданыстағы ұшқыр қайшылардың құрылымдары мен электр жетектеріне аналитикалық талдау жасалынды. Ұшқыр қайшылардың келесі негізгі түрлері бар: барабанды, иінді-шатунды, тербелмелі, маятникті және планетарлық.

Барабан ұшқыр қайшылар. Барабанды (қос барабанды) қайшы-бұл металл кесуге арналған

алғашқы машиналардың бірі, құрылымы өте қарапайым және сенімді жұмыс істейді. Қалыңдығы 40 мм-ге дейін кең болат жолақтарды ыстық кесу, қалыңдығы 3 мм-ге дейін болат жолақтарды суық кесу және шағын сортты

профильдерді ыстық кесу үшін кеңінен қолданылды [4]. Бұл қайшылардың құрылысы мен жұмыс істеу принципі келесідей (сурет 1).



1- беру роликтері; 2 - барабанды қайшылары; 3-пышақтар; 4 - роликтер

Сурет 1 - Барабанды ұшқыр қайшылардың схемасы

Екі барабанға пышақтар радиалды түрде бекітілген (әр барабанда бір немесе бірнеше). Жолақ үздіксіз қозғалады және қайшыларға тұрақты жылдамдықпен беру роликтерімен (немесе үздіксіз орнақтың соңғы ұшығының орамдарымен) беріледі. Жоғарғы және төменгі пышақтар кездескен кезде жолақ кесіледі. Кесілген жолақ бөліктері арасында алшақтық жасау үшін шығатын роликтің жылдамдығы қайшының алдындағы жолақтың жылдамдығынан үлкен болуы керек [4].

Металды кесу кезінде барабан ұшқыр қайшылар екі негізгі режимде жұмыс істей алады:

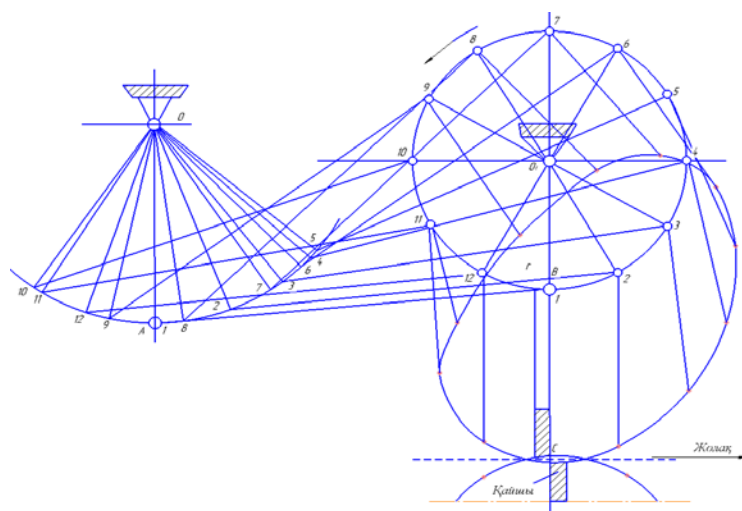
- 1) мерзімді іске қосу және тоқтату;
- 2) барабандардың үздіксіз айналуы (үздіксіз).

Иінді-шатунды ұшқыр қайшылар. Қалың жолақты кесуге арналған қайшы. Барабанды ұшқыр қайшыларды сипаттау кезінде пышақтардың дөңгелек траектория бойымен қозғалуына байланысты кесу кезінде олар белгілі бір бұрышта жолақпен кездесетіні, нәтижесінде үлкен динамикалық жүктемелер пайда болатындығы және кесу жазықтығы тік емес екендігі атап өтілді; дәл сол себепті кесу кезінде динамикалық күштерді азайту үшін бір пышақты көлбеу (гильотинді қайшылардағыдай) орнату үлкен қиындықтар әкеледі [4, 5].

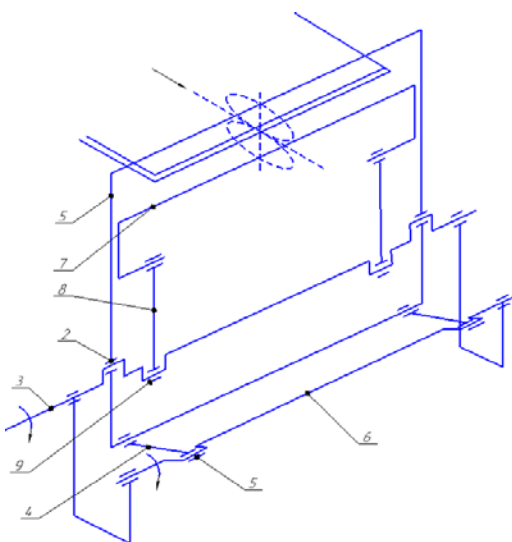
Жолақты кесу жазықтығы мүмкіндігінше тегіс және тік болуы үшін (әсіресе қалың жолақтарды кесу кезінде) және сонымен бірге гильотинді кесуді қолдануға болады (бір пышақты екіншісіне қатысты көлбеу етіп орналастыру), кесу кезінде пышақтар бір-біріне параллель болып, қозғалмалы жолақ 90° бұрыш жасай отырып, бір-біріне жақындауы керек.

Бұл талаптарды иінді-шатунды ұшқыр қайшылар қанағаттандырады, олардың пышақтары күрделі эллипсоидты траектория жасайды, ал кесу аймағында бұл траектория жолақтың көлденең қозғалысына сәйкес келеді (пышақтар тігінен жақындап, алға қарай қозғалады) [4, 5].

1- суретте иінді-шатунды ұшатын қайшыны кесу механизмінің схемалары көрсетілген. ABC және A'B'C' қатты тұтқалары A және A' нүктелерінде AO және A'O' иінтіректерімен, ал B және B' нүктелерінде B1 және B1' иінділерімен, олардың B және B орталықтары O1 және O1' орталықтарының айналасында айналады.



Сурет 2 - Ұшқыр иінді-шатунды қайшы пышақтарының эллипсоидты траекториялары



Сурет 3 - Тербелмелі ұшқыр қайшылар схемасы

Тербелмелі ұшқыр қайшылар. Жолақты өлшеуіш ұзындықтағы жаймаларды көлденең кесу үшін соңғы жылдары тербелмелі типтегі ұшқыр қайшылар (барабанды мен иінді-шатунды қайшылардың орнына) кеңінен қолданылды. Қайшының құрылымдық схемасы 3-суретте көрсетілген.

Жоғарғы пышақ 1 жақтауға бекітілген, ол негізгі жетек білігінің 2 эксцентриктерінде тербеліс қозғалысын жасай алады 3 негізгі біліктің жетегімен байланысты кинематикалық қосымша айналу жетегі бар 6 қосалқы біліктің 5 эксцентриктерімен байланысқан 4 байланыстырушы шатундардың көмегімен 3 (дифференциалды, тірек немесе берілістің көмегімен — схемада көрсетілмеген) [4].

Төменгі пышақ 7-штангенциркульге бекітілген және 1-раманың бағыттаушы ойықтарында негізгі біліктің 9-эксцентриктеріне

қосылған 8-байланыстырушы шатундардың көмегімен қозғалады 3. 2 және 9 эксцентриктері білікке диаметрлі қарама-қарсы орналасқан, сондықтан негізгі біліктің 3 біркелкі айналуымен жоғарғы пышақ төмендейді, төменгі пышақ көтеріліп, жолақ кесіледі. Бұл жағдайда 6 қосалқы білік негізгі білікпен бірдей бағытта айналады, 4 байланыстырушы шатундар 2 эксцентриктерде 1 жақтауды «шайқайды» және пышақтар эллипсоидты траекторияларды сипаттайды. Пышақтармен раманың тербеліс амплитудасы негізгі біліктің 2 эксцентриктерінің 3 жағдайына қатысты біліктің 5 эксцентриктерінің орналасуымен анықталады. 6 біліктің бастапқы орнын және 1 раманың тербеліс амплитудасын реттеуді жолда (қайшылар жұмыс істеп тұрған кезде) жүзеге асыруға болады, соның арқасында кесу кезінде пышақтар мен жолақтардың жылдамдықтарын дәл үйлестіруге

қол жеткізіледі [4].

Маятникті ұшқыр қайшы. Ыстық дайындаманың алдыңғы тегіс емес ұшын кесу үшін (жұмыс орамдарының калибріне дайындауды қиындатады) үздіксіз дайындама және сорттық орнақтарда маятникті ұшқыр қайшылар орнатылады. Бұл қайшылар қозғалатын массалардың үлкен инерциясына байланысты өте баяу жүреді және олар дайындаманың қозғалыс жылдамдығы 1,0—1,5 м/с аспайтын кезде ғана қолданылады [4].

Қайшы қыздыру пеші мен орта сортты орнақтарда бірінші қара клеттердің арасында орнатылған; дайындаманың температурасы 1100–1200°C; осы температурада дайындаманың металл беріктігінің (аққыштығының) шегі 60 МПа; дайындаманың қозғалыс жылдамдығы 0,2 м/с. Маятникті қайшы схемасы 4-суретте көрсетілген.

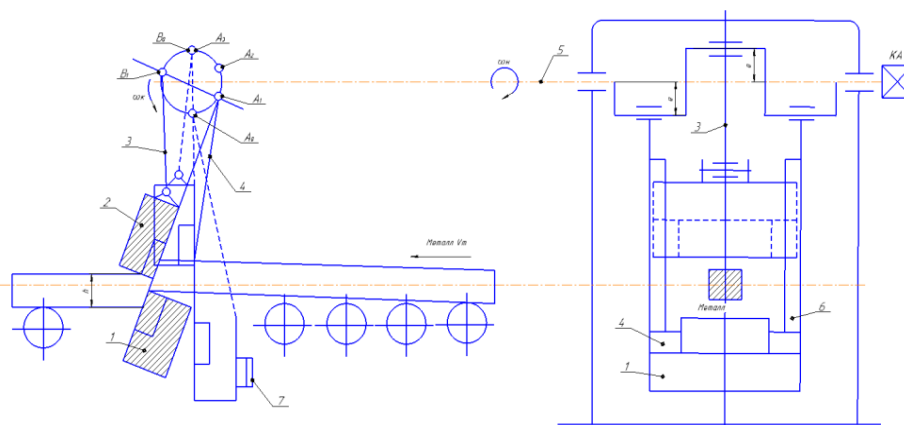
5 қайшының жетек білігінде үш эксцентрик бар (Схемада иінді біліктің мойны түрінде көрсетілген). Екі экстремалды эксцентрик 100 мм

жетек білігінің осіне қатысты эксцентриситетке ие; бұл эксцентриктерде мойынтіректерде екі штангенциркуль ілулі, төменгі жағында 1 көлденең траверспен тығыз байланысқан; осылайша, бұл екі штангенциркуль екі бүйірлік эксцентрикке еркін ілінген бір маятник болып табылады [4].

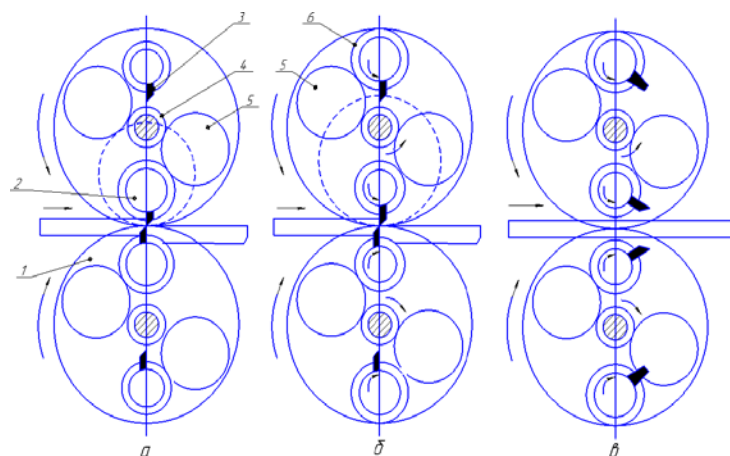
Маятниктің төменгі траверсінде төменгі пышақ бекітілген. Жетек білігінің осіне қатысты орташа эксцентриситеті де 100 мм; бұл эксцентрикте жоғарғы штангенциркуль 2-ге біріктірілген

3-байланыстырушы штангенциркуль ілулі; соңғысы тек төменгі штангенциркульдің 6-бүйірлік рельстерімен жүре алады. Маятниктің 7 амортизатормен шектелген бастапқы (тік) күйге оралуын жеңілдету және жеделдету үшін арнайы серіппелі құрылғы қарастырылған.

Ұшқыр планетарлық қайшы. Ұшқыр планетарлық қайшылар 60×60–100×100 мм қимасы бар ыстық дайындамаларды сәйкесінше 6,3–2,0 м/сек жылдамдықпен кесуге арналған.



Сурет 4 - Төмен жылдамдықты маятникті ұшқыр ыстықтай кесу қайшылары



а-үлкен бастармен кесу; б-кіші бастармен кесу; в-кесуді өткізіп жіберу

Сурет 5 - Дайындамаларды ыстық кесуге арналған планетарлық жылдам ұшқыр қайшы

Қайшылар үздіксіз дайындайтын орнақтың соңғы клетінің артына орнатылады. Кесу механизмі екі барабаннан тұрады 1, олардың әрқайсысында 2 және 3 кесу бастары бар қос планетарлық механизмдер орналастырылған.

Барабандарда қайшылар бүйірлік тіректерінің роликті мойынтіректерде екі тірек бар. Бір тірек жағынан барабандар шеткі, тісті дөңгелектер арқылы қозғалады; төменгі барабан қуаты 1300 кВт, 200-230 айн/мин тұрақты ток электр қозғалтқышымен қозғалады [4].

Барабан жетегіне карама-қарсы жақтағы жоғарғы және төменгі барабандар күн берілістермен өзара байланысты; бұл берілістердің біліктері барабан тіректерінің ішінде өтеді.

Ұшқыр қайшының электр жетегі. Ұшқыр қайшылардың электр жетегіне жылдамдықты реттеуге қатысты жоғары талаптар қойылады, сонымен қатар жұмыс режимінде тұрақты бұрыштық жылдамдықты қамтамасыз ету қажет. Егер ұшқыр қайшылар жолақты көлденең кесудің үздіксіз ағындық желісіне орнатуға арналған болса, онда бұл желінің жылдамдығы әр түрлі қалыңдықтағы жолақты кесу кезінде технологиялық тұрғыдан әр түрлі болады (кесу қондырғысының максималды өнімділігінде сапалы кесу алу үшін). Осылайша, әр түрлі жолақтарды кесу кезінде қызмет көрсететін роликтер қайшыға әр түрлі жылдамдықтағы жолақты береді v_j ($v_{j.min.}$ нен $v_{j.max}$ дейін); демек, ұшқыр қайшылардың жылдамдығы да он әртүрлі жылдамдықтарға сәйкес келуі керек, яғни v_j ($v_{j.min.}$ нен $v_{j.max}$ дейін) шегінде болуы керек.

Осы технологиялық механизмге қойылатын техникалық талаптарға сәйкес келетін электр жетегін таңдаймыз. Ол үшін қозғалтқыштардың үш түрі қарастырылды: асинхронды қозғалтқыш, синхронды қозғалтқыш және тұрақты ток қозғалтқышы.

Үш фазалы асинхронды қозғалтқышы бар электр жетегі өнеркәсіпте, коммуналдық және ауыл шаруашылығында жетектің ең көп таралған түрі болып табылады. Бұл позиция асинхронды қозғалтқышты жасау мен пайдаланудың қарапайымдылығымен анықталады, салмағы, жалпы өлшемдері, құны тұрақты ток қозғалтқыштарымен салыстырғанда аз. Олар сондай-ақ төмен техникалық қызмет көрсету және жоғары тиімділік коэффициентімен жоғары сенімділікке ие. Асинхронды қозғалтқыштар фазалық және қысқа тұйықталған ротормен келеді [6, 7].

Синхронды қозғалтқыштар әртүрлі жұмыс машиналары мен механизмдерінің электр

жетегінде кеңінен қолданылады, бұл жоғары техникалық-экономикалық көрсеткіштермен түсіндіріледі. Синхронды қозғалтқыштар жоғары қуат коэффициентіне ие $\cos\phi$, бірлікке жақын және тіпті озық $\cos\phi$ болуы мүмкін. Синхронды қозғалтқыштың озық $\cos\phi$ -пен жұмыс істеу және реактивті қуат беру қабілеті жұмыс режимін және электрмен жабдықтау жүйесінің үнемділігін жақсартуға мүмкіндік береді. Қазіргі заманғы синхронды қозғалтқыштардың пайдалы әсер ету коэффициенті 95 - тен 98% - ға дейін, бұл бірдей өлшемдер мен жылдамдықтағы асинхронды қозғалтқыштың пайдалы әсер ету коэффициентінен 1-ден 1,5% - ға жоғары. Синхронды қозғалтқыштарда қоздыру тогын реттеу арқылы шамадан тыс жүктемені реттеуге болады, ал шамадан тыс жүктеме асинхронды қозғалтқышпен салыстырғанда желінің кернеуіне аз тәуелді болады. Синхронды қозғалтқыш мүлдем қатаң сипаттамаға ие. Синхронды қозғалтқышты жобалаудың маңызды артықшылығы-үлкен ауа саңылауы, соның салдарынан оның сипаттамалары мен қасиеттері мойынтіректердің тозуына және роторды орнатудың дәлсіздігіне аз тәуелді [6, 7].

Тұрақты ток жетегі тәуелсіз, параллель және аралас қозуы бар қозғалтқыштарды, сондай-ақ тұрақты магниттерден қозуды пайдаланады, олардың сипаттамалары бойынша тәуелсіз қозудың тұрақты ток қозғалтқыштарына жақын.

Тәуелсіз қоздыру тұрақты ток қозғалтқышы бар электр жетегі қазіргі уақытта реттелетін электр жетегінің негізгі түрі болып табылады. «Басқарылатын түзеткіш – қозғалтқыш» жүйесі негізінде құрылған тұйық электр жетегі жоғары сапа көрсеткіштерімен жұмыс істеудің барлық режимдерінде жұмыс машиналары мен механизмдерінің атқарушы органдарының қозғалыс координаттарын реттеуді қамтамасыз етеді [6, 7].

Параллель және тәуелсіз қоздыру қозғалтқыштары қатты механикалық сипаттамаға ие, сондықтан тұрақты жылдамдық қажет болатын қондырғыларда қолданылады (станоктар, илектеу станоктары). Тәуелсіз қоздыру қозғалтқыштары кең жылдамдықты реттейтін жүйелерде кеңінен қолданылады. Сериялық қоздыру қозғалтқыштарында электромагниттік момент якорь тогына квадраттық тәуелділікке ие. Сондықтан, бұл қозғалтқыштар іске қосу кезінде үлкен моменттер қажет болатын құрылғыларда қолданылады, онда жиі жүктемелер байқалады [6, 7].

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ТАЛҚЫЛАУ

Аналитикалық талдау барысында ұшқыр қайшының әрбір түрі өзінше бірегей екенін атап

өтуге болады. Жұмыс барысында барлық қайшылардың бірқатар артықшылықтары мен кемшіліктері анықталды.

Барабанды ұшқыр қайшылардың негізгі артықшылықтары, олардың барабандары тұрақты бұрыштық жылдамдықпен біркелкі айналады және айналмалы массалар толығымен теңдестірілген, содан кейін бұл қайшылар металды 15 м/с немесе одан да көп жылдамдықпен кесуге мүмкіндік береді. Алайда, бұл қайшылардың келесі кемшіліктері бар:

1) пышақтардың кесу жиектерінің қозғалыс траекториясы шеңберлер болып табылады, сондықтан көлденең қозғалатын жолақпен кездескенде кесу ауыспалы бұрышта болады және жолақтағы кесу жазықтығы тік болмайды. Алайда бұл кемшілік жұқа жолақтарда кесуде маңызды емес;

2) жолақты кесу параллель пышақтармен жүзеге асырылады, яғни оның бүкіл ені бойынша, нәтижесінде оларды динамикалық қолдану кезінде үлкен кесу күштері пайда болады. Кесу күшін азайту үшін бір пышақты көлбеу етіп жасаған жөн; (гильотинді қайшылар принципі бойынша) немесе шевронды, алайда кең жолақтарды үлкен жылдамдықпен кесу кезінде (кесу процесінде ϕ бұрышы өзгерген кезде) бұл принципті жүзеге асыру пышақтар арасындағы бүйірлік алшақтықты арттыруды талап етеді.

Иінді-шатунды қайшының артықшылығы пышақтар күрделі эллипсоидты траекторияны орындайды, ал кесу орнында бұл траектория жолақтың көлденең қозғалысына сәйкес келеді. Қайшының кемшілігі-пышақтардың біркелкі емес қозғалысы кезінде кесу механизмінің үлкен инерциясы, сондықтан мұндай қайшылар тек 2 м/с жылдамдықта жолақты кесу үшін қолданылады.

Тербелмелі қайшылар барабанды және иінді-шатунды ұшқыр қайшылармен салыстырғанда келесі артықшылықтары бар:

1) кесу механизмінің қарапайымдылығы мен сенімділігі; пышақтар арасындағы бүйірлік саңылаудың тұрақтылығы, соның арқасында жолақты сапалы, перпендикуляр кесу қамтамасыз етіледі;

2) кесу механизмінің шағын өлшемдері мен массалары бар, жетек біліктері инерциялық жүктемелерсіз біркелкі айналады;

3) жаймалардың өлшемдік ұзындығы қадамсыз жылдамдық реттегішінің көмегімен жолда реттеледі, жолақтарды кесу дәлдігіне ± 1 мм шегінде қол жеткізіледі;

4) пышақтар мен жолақтардың жылдамдығын теңестірудің өте қарапайым механизмі;

5) қайшының конструкциясы кесудің кез

келген санына ($K = 1, 2, 3$ және т.б.) механизмдерді (механикалық немесе гидравликалық) қолдануға мүмкіндік береді.

Бұл қайшыларды біздің елде және шетелде қолдану тәжірибесі олардың 2 м/с дейінгі жылдамдықта жұқа және кең жолақты кесу қондырғыларында сәтті жұмыс істейтіндігін көрсетеді.

Маятникті ұшқыр қайшылардың артықшылықтары құрылымы қарапайым және сенімділік, қозғалатын массалардың үлкен инерциясына қарамастан, өте баяу. Кемшіліктерге сапасыз кесу (прокат осіне перпендикуляр емес), баяу жүру, қарама-қарсы салмақтың әсерінен жолақтарды қайтарудың ұзақ уақытына байланысты қысқа жолақтарды алу үшін қайшыны пайдалану мүмкін еместігі, сондай-ақ жоғары профильді прокатты кесу жатады.

Жоғарыда аталған қайшылармен салыстырғанда, планетарлық ұшқыр қайшылар кесу бастары бар барабандардың екі тірек орналасуының және олардың жетек жүйесінің теңдестірілген болуының кейбір артықшылықтарымен ерекшеленеді, сондықтан бұл қайшылар 7 м/сек дейін жоғары жылдамдықта жұмыс істей алады. Олардың кемшілігі-кесу планетарлық механизмдерінің күрделі құрылымы.

Ұшқыр қайшының электр жетегінің механикалық қасиеттерін сипаттайтын негізгі көрсеткіштер:

- 1) реттеу ауқымы;
- 2) тегіс;
- 3) үнемділік;
- 4) жылдамдық тұрақтылығы;
- 5) әртүрлі жылдамдықтағы рұқсат етілген жүктеме;
- 6) механикалық сипаттаманың қаттылығы.

Осы көрсеткіштердің әрқайсысын жеке қарастырамыз.

Бұрыштық жылдамдықты реттеу диапазоны тұрақты ток қозғалтқышында (ТТК) үлкен, бұған магнит ағынының өзгеруі немесе қозғалтқыш арматурасына берілген кернеу арқылы қол жеткізіледі. Асинхронды қозғалтқыштарда (АҚ) бұрыштық жылдамдықты реттеу мүмкіндігі де бар, бірақ диапазон онша үлкен емес. АҚ жиілігін реттеу кезінде жылдамдықты басқару диапазоны өте үлкен болуы мүмкін (100:1 дейін), бірақ ол ротор мен мойынтіректердің механикалық беріктігімен шектеледі;

Реттеудің тегістігі берілген жылдамдықтан ең жақын жылдамдыққа ауысқан кезде жылдамдықтың секіруін сипаттайды. Бұл жылдамдықтың өзгеруі неғұрлым аз болса, соғұрлым тегіс болады. Электр жетегінің тәжірибесінде реттеудің ең аз тегістігі қысқа

тұйықталған роторы бар екі жылдамдықты АҚ ие. Керісінше, тәуелсіз қозу ТТҚ-да жоғары тегістікке қол жеткізіледі.

Реттеудің үнемділігі жұмыс цикліндегі реактивті энергияның қуат коэффициентімен және тұтынылуымен сипатталады. Синхронды қозғалтқыштарда (СҚ) қуаттың реактивті компонентін минимумға дейін төмендетуге мүмкіндік беретін қуат компенсаторлары ретінде қолданылады, алайда бұл жетектің жұмысын қиындатады және оның құнын арттырады. ТТҚ-ның қуат коэффициенті төмен. Бұрыштық жылдамдықтың тұрақтылығы жүктеме моментінің берілген ауытқуымен оның өзгеруімен сипатталады және механикалық сипаттаманың қаттылығына байланысты. АҚ бұрыштық жылдамдығын реттеу кезінде сипаттаманың қаттылығы өзгертіндіктен, жылдамдықтың берілген жылдамдықтан ауытқуы да өзгереді. ТТҚ бұрыштық жылдамдығын реттеу кезінде қаттылық әрең өзгереді. СҚ-да ең жоғары жылдамдық тұрақтылығы, өйткені ол өте жақсы сипаттамаға ие;

Шамадан тыс жүктеме сыйымдылығы қозғалтқыш дамытатын максималды моменттің қозғалтқыштың номиналды моментіне қатынасымен сипатталады. Осы критерий бойынша салыстыру кезінде тұрақты ток қозғалтқышы АҚ мен СҚ-қа қарағанда артықшылықтарға ие, өйткені төмен айналымдарда олар шамадан тыс жүктеме қабілетіне ие емес.

Алынған нәтижелер соңғы халықаралық зерттеулермен сәйкес келеді. Druzhinin және әріптестері [8] ыстықтай илемдеу орнақтарының электр жетектерін басқаруды жетілдіру арқылы жылдамдықтың тұрақтылығы мен жүйенің динамикалық сипаттамаларын жақсартуға болатынын көрсетті. Бұл біздің зерттеуімізде тәуелсіз қоздырылатын тұрақты ток қозғалтқышын таңдаудың тиімділігі туралы қорытындыны қолдайды.

Сонымен қатар, Кмесік және әріптестері [9] барабанды ұшқыр қайшылардың басқару құрылымын жасанды интеллект әдістері арқылы оңтайландыру кесу дәлдігін және жүйенің жұмыс тиімділігін арттыратынын дәлелдеген. Бұл ұшқыр қайшыларды жетілдірудің қазіргі бағыты конструкциялық шешімдерді интеллектуалды басқару жүйелерімен үйлестіруге негізделетінін көрсетеді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Зерттеу нәтижелері бойынша барабанды ұшқыр қайшылар құрылымы жағынан өте қарапайым, жұмысында сенімді деген қорытынды

жасауға болады. Барабандар тұрақты жылдамдықпен біркелкі айналатындықтан және айналмалы массалар толығымен теңдестірілгендіктен, олар қайшының басқа түрлеріне қарағанда айтарлықтай жоғары жылдамдықпен кесуге мүмкіндік береді.

Ұшқыр қайшының электр жетегі бойынша жүргізілген талдауда ұшқыр қайшының жұмысының технологиялық ерекшеліктері бойынша тәуелсіз қозудың ТТҚ-шы барынша қанағаттандырылатындығы анықталды. Осының бәрін ескере отырып, ұшқыр қайшылар механизмінің жетекті электр қозғалтқышы ретінде тәуелсіз қозудың тұрақты ток қозғалтқышын қабылдаймыз.

Мүдделер қақтығысы. Авторлар осы зерттеуді орындау және мақаланы жариялау барысында мүдделер қайшылығы жоқ екенін мәлімдейді.

Авторлардың үлесін көрсету (таксономия CRediT): **Ә.Е.Батырбек** – зерттеу тұжырымдамасын әзірлеу, әдіснаманы қалыптастыру, зерттеуді жүргізу, нәтижелерді талдау, мақаланың бастапқы нұсқасын дайындау. **Г.А. Сивякова** – ғылыми жетекшілік, зерттеу әдіснамасын жетілдіру, нәтижелерді тексеру, мақаланы ғылыми редакциялау. **В.К. Тытыюк** – ғылыми әдебиеттерді талдау, нәтижелерді түсіндіру, техникалық кеңес беру, мақаланы рецензиялау. **У.Ф. Мамиров** – мәліметтерді талдау, иллюстрациялық материалдарды дайындау, техникалық шешімдерді бағалау, нәтижелерді талқылауға қатысу. Барлық авторлар мақаланың соңғы нұсқасымен танысып, оны жариялауға мақұлдады және зерттеу нәтижелерінің дұрыстығына ортақ жауапкершілік алады.

Қаржыландыру. Зерттеу сыртқы қаржыландырусыз орындалды.

Алғыс. Авторлар зерттеуді орындауға ғылыми және ұйымдастырушылық қолдау көрсеткені үшін Қарағанды индустриялық университетіне, Кривой Рог ұлттық университетіне және Ислам Каримов атындағы Ташкент мемлекеттік техникалық университетіне алғыс білдіреді.

Авторлық құқық © 2026 автор(лар)ға тиесілі. Бұл мақала Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0) лицензиясы бойынша ашық қолжетімді болып табылады. Лицензия түпнұсқа еңбекке тиісті түрде сілтеме жасалған жағдайда, кез келген ортада пайдалануға, таратуға және қайта жариялауға рұқсат береді. Туынды материалдар осы лицензияның дәл осындай шарттарымен таратылуы тиіс.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- [1] Климушкин А.Н. Горячая прокатка полос в листопрокатном цехе №1: Технологическая инструкция. Темиртау, 2017. 125 с.
- [2] Юсупова С.А., Чигамбаев Т.О. Системы автоматизированного электропривода: учебное пособие. Алматы, 2019. 157 с.
- [3] Батырбек Ә.Е., Сивякова Г.А. Система автоматического регулирования электропривода летучих ножниц стана горячей прокатки // Вестник Торайгыров университета. Энергетическая серия. 2024. № 4. С. 19–31. URL: <https://vestnik-energy.tou.edu.kz/storage/articles/93>
- [4] Батырбек Ә.Е., Левченко И.В., Сивякова Г.А. Сравнительная характеристика конструкции летучих ножниц, применяемых на станах горячей прокатки // Роль науки в повышении престижа инженерного труда: труды LV Республиканской научно-практической конференции. Темиртау: Карагандинский индустриальный университет, 2025. С. 263–268.
- [5] Ghosh K. A Study on Kinematic Analysis of Crank-Type Flying Shear Mechanism for Production-Oriented Design and Motion Control // Journal of The Institution of Engineers (India): Series C. 2019. Vol. 100. P. 851–858. DOI: 10.1007/s40032-018-0495-x.
- [6] Москаленко В.В., Кацман М.М. Электрические машины и приводы: учебник. Москва: Академия, 2018. 368 с. ISBN 978-5-4468-8257-1.
- [7] Москаленко В.В. Системы автоматизированного управления электропривода: учебник. Москва: ИНФРА-М, 2021. 208 с. ISBN 978-5-16-005116-1.
- [8] V. Druzhinin, V. Tytiuk, P. Kurliak, O. Chorny, G. Sivyakova, A. Kalinin, and V. Busher, "Electric drive excitation control for improved performance of hot rolling mill finishing groups," *Energetika*, vol. 71, no. 1, 2025, doi: 10.6001/energetika.2025.71.1.4.
- [9] T. Kmecik, M. Hric, P. Girovský, and F. Ďurovský, "Optimalisation of Flying Shears Control Structure Using AI Methods," *Power Electronics and Drives*, vol. 11, no. 1, pp. 111–127, 2026, doi: 10.2478/pead-2026-0006.

REFERENCES

- [1] A. N. Klimushkin, *Hot Rolling of Strips in Sheet Rolling Shop No. 1: Technological Instructions*. Temirtau, Kazakhstan, 2017.
- [2] S. A. Yusupova and T. O. Chigambayev, *Automated Electric Drive Systems*. Almaty, Kazakhstan, 2019.
- [3] A. E. Batyrbek and G. A. Sivyakova, "Automatic control system for the electric drive of hot rolling mill flying shears," *Bulletin of Toraighyrov University. Energy Series*, no. 4, pp. 19–31, 2024. [Online]. Available: <https://vestnik-energy.tou.edu.kz/storage/articles/93>
- [4] A. E. Batyrbek, I. V. Levchenko, and G. A. Sivyakova, "Comparative characteristics of the design of flying shears used in hot rolling mills," in *Proceedings of the LV Republican Scientific and Practical Conference "The Role of Science in Increasing the Prestige of Engineering Work"*, Temirtau, Kazakhstan: Karaganda Industrial University, 2025, pp. 263–268.
- [5] K. Ghosh, "A Study on Kinematic Analysis of Crank-Type Flying Shear Mechanism for Production-Oriented Design and Motion Control," *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, vol. 100, pp. 851–858, 2019, doi: 10.1007/s40032-018-0495-x.
- [6] V. V. Moskalenko and M. M. Katsman, *Electric Machines and Drives*. Moscow, Russia: Academy Publishing Center, 2018.
- [7] V. V. Moskalenko, *Automated Control Systems of Electric Drives*. Moscow, Russia: INFRA-M, 2021.
- [8] V. Druzhinin, V. Tytiuk, P. Kurliak, O. Chorny, G. Sivyakova, A. Kalinin, and V. Busher, "Electric drive excitation control for improved performance of hot rolling mill finishing groups," *Energetika*, vol. 71, no. 1, 2025, doi: 10.6001/energetika.2025.71.1.4.
- [9] T. Kmecik, M. Hric, P. Girovský, and F. Ďurovský, "Optimalisation of Flying Shears Control Structure Using AI Methods," *Power Electronics and Drives*, vol. 11, no. 1, pp. 111–127, 2026, doi: 10.2478/pead-2026-0006.

ИТ-ТЕХНОЛОГИИ, ЭНЕРГЕТИКА, АВТОМАТИЗАЦИЯ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

DOI: <https://doi.org/10.53002/116>

HYBRID ENSEMBLE MACHINE LEARNING MODELS FOR REDUCING THE FALSE POSITIVE RATE IN FINANCIAL TRANSACTION FRAUD DETECTION

**Zhamel I.A., Smagulova A.S.*

Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

** Corresponding author email: isozhamel@gmail.com*

Author information:

Zhamel I.A. - Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan. E-mail: isozhamel@gmail.com

Smagulova A.S. - Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan. E-mail: a.smagulova@ktu.edu.kz

Abstract. The article is devoted to solving the problem of a high level of false positives (FPR) in fraudulent transaction detection systems. The research aims to develop and validate a hybrid machine learning model based on the Blending architecture. The scientific novelty of the work lies in the application of a weighted meta-classifier optimized to minimize FPR on highly unbalanced financial data. A combination of gradient boosting and anomaly detection methods is used as the basic algorithms. The experimental results demonstrate that the proposed approach provides a significant reduction in the number of false alarms compared to traditional single models and the Stacking method, while maintaining high accuracy in detecting attacks.

Keywords: ensemble methods, blending, false positives, meta-classifier, Precision, FPR

ҚАРЖЫЛЫҚ ТРАНЗАКЦИЯЛАРДАҒЫ АЛАЯҚТЫҚТЫ АНЫҚТАУДА ЖАЛҒАН ОҢ НӘТИЖЕЛЕР ДЕҢГЕЙІН (FALSE POSITIVE RATE, FPR) ТӨМЕНДЕТУГЕ АРНАЛҒАН ГИБРИДТІ АНСАМБЛЬДІК МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ МОДЕЛЬДЕРІ

** Жамел И.А., Смагулова А.С.*

Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті,

Қарағанды, Қазақстан

** Автор-корреспондент e-mail: isozhamel@gmail.com*

Авторлар туралы ақпарат:

Жәмел И.А. - Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан. E-mail: isozhamel@gmail.com

Смағұлова А.С. - Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан. E-mail: a.smagulova@ktu.edu.kz

Аңдатпа. Мақала алаяқтық транзакцияларды анықтау жүйелеріндегі жалған оң позитивтердің (FPR) жоғары деңгейін шешуге арналған. Зерттеудің мақсаты-Blending архитектурасына негізделген машиналық оқытудың гибриді моделін әзірлеу және тексеру (араластыру). Жұмыстың ғылыми жаңалығы-жоғары теңгерімсіз қаржылық деректерде FPR-ді азайту үшін оңтайландырылған өлшенген мета-классификаторды қолдану. Негізгі Алгоритмдер ретінде градиентті күшейту мен аномалияны анықтау әдістерінің тіркесімі қолданылады. Эксперименттік нәтижелер ұсынылған тәсіл шабуылдарды анықтаудың жоғары дәлдігін (дәлдігін) сақтай отырып, дәстүрлі жалғыз модельдермен және Stacking әдісімен салыстырғанда жалған дабылдар санының айтарлықтай төмендеуін қамтамасыз ететінін көрсетеді.

Түйін сөздер: ансамбльдік әдістер, блендинг, жалған оң позитивтер, мета-классификатор, дәлдік, FPR

ГИБРИДНЫЕ АНСАМБЛЕВЫЕ МОДЕЛИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ ЛОЖНОПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ СРАБАТЫВАНИЙ (FALSE POSITIVE RATE, FPR) ПРИ ОБНАРУЖЕНИИ МОШЕННИЧЕСТВА В ФИНАНСОВЫХ ТРАНЗАКЦИЯХ

**Жамел И.А., Смагулова А.С.*

Карагандинский технический университет им А.Сагинова, Караганда, Казахстан

** Автор-корреспондент e-mail: isozhamel@gmail.com*

Информация об авторах:

Жамел И.А. - Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан. E-mail: isozhamel@gmail.com

Смагулова А.С. - Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан. E-mail: a.smagulova@ktu.edu.kz

Аннотация. Статья посвящена решению проблемы высокого уровня ложноположительных срабатываний (FPR) в системах обнаружения мошеннических транзакций. Целью исследования является разработка и валидация гибридной модели машинного обучения на основе архитектуры Blending (смешивание). Научная новизна работы заключается в применении взвешенного мета-классификатора, оптимизированного для минимизации FPR на сильно несбалансированных финансовых данных. В качестве базовых алгоритмов использована комбинация градиентного бустинга и методов обнаружения аномалий. Экспериментальные результаты демонстрируют, что предложенный подход обеспечивает значимое снижение количества ложных тревог по сравнению с традиционными одиночными моделями и методом Stacking, сохраняя при этом высокую точность (Precision) детектирования атак.

Ключевые слова: ансамблевые методы, блендинг, ложноположительные срабатывания, мета-классификатор, Precision, FPR.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

На основе сравнительного анализа современных ансамблевых и гибридных моделей машинного обучения установлено, что архитектуры Blending и гибридные модели, сочетающие методы градиентного бустинга с алгоритмами обнаружения аномалий, наиболее эффективно обеспечивают снижение уровня ложноположительных срабатываний (False Positive Rate, FPR) при сохранении высокой точности обнаружения мошеннических финансовых транзакций.

ВВЕДЕНИЕ

Обнаружение мошенничества в сфере финансовых транзакций остается одной из наиболее критичных задач для банковского сектора и финтех-компаний. Увеличение объемов цифровых платежей и повышение изопренности мошеннических схем привели к росту глобальных финансовых потерь, стимулируя разработку продвинутых систем на основе машинного обучения. Несмотря на высокую прогностическую мощность современных алгоритмов, ключевой проблемой остается неспособность традиционных моделей эффективно балансировать между обнаружением реального мошенничества (Recall) и минимизацией ложноположительных срабатываний (False Positive Rate, FPR).

Данное исследование нацелено на глубокий анализ и структурированный обзор научных статей и кейсов (2020–2025 гг.), посвященных применению ансамблевых и гибридных моделей машинного обучения. Основная задача — выявить архитектурные решения и оптимизационные стратегии, которые обеспечивают минимальный FPR при сохранении высокой эффективности обнаружения, что является императивом для операционной надежности финансовых систем.

Системы обнаружения мошенничества в финансовых транзакциях сталкиваются с необходимостью поддерживать высокую точность при минимальном количестве ложных тревог, поскольку именно FP-срабатывания формируют реальные операционные и репутационные риски. Интерес к ансамблевым и гибридным моделям — Stacking, Blending, Boosting и Bagging — обусловлен их способностью повышать устойчивость решений в условиях шумных данных и выраженного классового дисбаланса.

Высокий уровень FP приводит к росту объема ручных проверок и связанных с ними затрат. По оценкам 2025 года, до четверти онлайн-транзакций может уходить на ручную обработку, а расходы на персонал и сопровождение споров достигают 1–2% выручки. При отсутствии контроля FP даже хорошо автоматизированные

процессы становятся неэффективными. Ошибочные блокировки также ухудшают клиентский опыт, снижая доверие и ключевые бизнес-метрики, включая пожизненную ценность клиента и показатели лояльности.

Перегрузка систем мониторинга ложными тревогами создаёт «усталость от тревог» и повышает риск пропуска реальных инцидентов. Это приводит к регуляторным нарушениям: только в 2024 году штрафы за недостаточный контроль транзакций превысили 3,3 млрд долларов. Таким образом, точность и робастность моделей являются критическими требованиями для финансовых организаций. Эти проблемы усугубляются экстремальной несбалансированностью данных: доля мошеннических операций нередко не превышает 0,18%. В таких условиях традиционный показатель Accuracy становится малоинформативным: классификатор, всегда предсказывающий «легитимно», демонстрирует Accuracy свыше 99,9%, но практически не выявляет фрод. Из-за огромного числа легитимных операций любое смещение порога в сторону увеличения полноты резко повышает FP, делая классические модели, не адаптированные к дисбалансу, непригодными для практического использования. Это стимулирует применение методов, ориентированных на повышение точности и контроль FPR в условиях реальных финансовых потоков.

Пробел в исследованиях. Несмотря на значительное количество исследований, посвящённых применению ансамблевых и гибридных методов машинного обучения для обнаружения мошенничества в финансовых транзакциях, большинство работ ориентировано преимущественно на повышение общей точности или полноты обнаружения. При этом сравнительный анализ современных архитектур с точки зрения минимизации уровня ложноположительных срабатываний (False Positive Rate, FPR), особенно в условиях сильного дисбаланса классов, представлен недостаточно. Кроме того, ограниченное внимание уделено оценке практических преимуществ архитектуры Blending по сравнению с другими ансамблевыми

подходами при её использовании в реальных финансовых системах.

Научная новизна. Научная новизна исследования заключается в систематизации и сравнительном анализе современных ансамблевых и гибридных моделей машинного обучения с акцентом на снижение уровня ложноположительных срабатываний (False Positive Rate, FPR). На основе анализа научных публикаций определены наиболее эффективные архитектурные решения, показаны преимущества гибридных моделей на основе Blending и сформулированы практические рекомендации по выбору методов машинного обучения для обнаружения мошенничества в условиях сильного дисбаланса финансовых данных.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В основу данного обзора положен анализ эмпирических исследований, опубликованных с 2020 по 2025 год, в которых использовались как публичные наборы данных (например, European Credit Card Transactions, IEEE-CIS Fraud Detection), так и внутренние корпоративные кейсы. Основной метод — систематический обзор литературы (Systematic Literature Review, SLR) для сравнения ансамблевых архитектур: Bagging, Boosting, Stacking и Blending.

Ансамблевые методы используют принцип агрегации прогнозов для повышения стабильности и обобщающей способности, что критически важно для формирования точных границ принятия решений и, как следствие, для снижения случайных ложных срабатываний (FP).

Stacking и Blending признаны наиболее эффективными ансамблевыми архитектурами для прямого управления FPR [1]. Они позволяют мета-классификатору (Layer 2) принимать консервативные, высокоточные решения, доверяя прогнозу мошенничества только при сильном, согласованном сигнале от базовых моделей.

Для достижения оптимального баланса между обнаружением известных (Supervised) и новых (Unsupervised) мошеннических паттернов, исследования 2020–2025 годов показывают превосходство гибридных ансамблей, интегрирующих методы обнаружения аномалий с мощными градиентными бустингами:

Таблица 1 - Сравнение ансамблевых архитектур и их влияние на снижение FPR

Архитектура	Механизм Агрегации	Основное Преимущество	Роль в Снижении FPR
Bagging (Random Forest)	Параллельное обучение, голосование/усреднение	Снижение дисперсии, робастность	Косвенное; повышение стабильности прогнозов, снижение случайных FP.
Boosting (XGBoost, CatBoost)	Последовательное обучение на ошибках, взвешивание	Высокая прогностическая мощность, фокус на сложных примерах	Прямое; может быть настроен на избегание FP с помощью специализированных функций потерь.
Stacking	Многоуровневая (L0 + Meta-Model) агрегация с использованием OOF-прогнозов	Максимальная производительность, сочетание силы разнородных моделей	Прямое; мета-модель учится консервативному, высокоточному принятию решений.
Blending	Многоуровневая (L0 + Meta-Model) агрегация на отделенном <i>Holdout</i> наборе	Простота развертывания, предотвращение утечки данных (Leakage)	Прямое; обеспечивает робастность и высокую точность, схожую со Stacking, но с меньшими рисками MLOps

Гибридная Архитектура Autoencoder / Isolation Forest + XGBoost/CatBoost: Наиболее успешные кейсы построены на двухэтапной системе. На первом этапе неконтролируемые модели (Autoencoder, Isolation Forest) используются для выявления *аномалий* (отклонений от нормы). Поскольку аномалии могут быть как мошенничеством, так и легитимными, но нетипичными транзакциями (высокий FPR), их скоринги затем подаются на вход контролируемому ансамблю Layer 2 (XGBoost/CatBoost) [2]. Этот ансамбль, обученный на размеченных данных, использует скоринг аномалии как *дополнительный признак*, чтобы отфильтровать легитимные аномалии (FP) и подтвердить наличие мошенничества. Пример Кейса: Гибридный фреймворк, комбинирующий неконтролируемый автоэнкодер с контролируемым классификатором XGBoost на публичном датасете, достиг Precision 0.9569 при Recall 0.9250 и F1-score 0.9407. Такой высокий показатель Precision прямо свидетельствует об успешной минимизации FPR.

Гибридные GBDT: Исследования также предлагают оптимизированные GBDT-модели, интегрированные со структурами Random Forest, например GBM-SSRF (Gradient Boosting Machine with Simplified and Strengthened Random Forest). Такие подходы улучшают робастность и вычислительную эффективность GBDT, одновременно снижая склонность к переобучению на несбалансированных данных, что косвенно поддерживает более низкий FPR.

Интерпретация результатов подчёркивает недостаточность традиционных метрик качества

для анализа моделей, ориентированных на снижение FPR. В условиях, когда доля мошеннических транзакций может быть пренебрежимо малой, показатель Accurasy утрачивает смысловую нагрузку, поскольку отражает преимущественно долю истинно отрицательных наблюдений, которые статистически доминируют в выборке. Ещё большей проблемой является использование ROC-AUC, поскольку формально снижающееся FPR может оставаться практически неизменным вследствие огромного числа TN. Это приводит к маскирующему эффекту, когда высокая площадь под ROC-кривой создаёт иллюзию надёжности модели, хотя в эксплуатационном режиме она генерирует неприемлемо много ложных тревог. Исследования последних лет подчёркивают, что ROC-AUC является метрикой, недостаточно чувствительной к FP при экстремальном дисбалансе, а значит непригодной для задач, где ошибочное отклонение легитимной транзакции приводит к ощутимым операционным и репутационным потерям.

В совокупности представленные результаты указывают на необходимость перехода к более специализированным метрикам и методам оценки, способным отражать реальную операционную надёжность моделей. Приоритет получает точность положительных предсказаний, а также метрики, основанные на Precision–Recall-кривой, которые демонстрируют значительно более высокую чувствительность к FP и позволяют корректно оценивать модели в условиях реального дисбаланса. Такой подход обеспечивает научно обоснованную основу для

разработки практических рекомендаций по построению систем обнаружения мошенничества, не только демонстрирующих высокие показатели в экспериментальных условиях, но и соответствующих эксплуатационным требованиям финансовых организаций.

При оценке качества моделей, настроенных на низкий FPR в условиях сильного классового дисбаланса, метрики Accuracy и AUC-ROC (Area Under the Receiver Operating Characteristic Curve) являются неадекватными и вводят в заблуждение. Как обсуждалось, завышенное значение Accuracy (99,9%+) полностью маскируется преобладанием истинно отрицательных (TN) транзакций, не предоставляя никакой информации о способности модели находить мошенничество. AUC-ROC: Кривая ROC строит True Positive Rate (Recall) против False Positive Rate (FPR). Поскольку

FPR рассчитывается как $\frac{FP}{FP+TN}$ а TN является огромным числом, даже значительное увеличение количества ложных срабатываний (FP) оказывает минимальное влияние на значение FPR. Это «маскирующий эффект». Модель может иметь высокий AUC-ROC (например, 0,97), но при этом быть операционно непригодной из-за неконтролируемого количества ложных тревог. Исследования 2020–2025 годов подчеркивают, что высокий ROC-AUC не гарантирует надежность модели в обнаружении мошенничества [3]. Для оценки моделей с низким FPR, применяются метрики, напрямую отражающие операционную стоимость ошибок.

Таблица 2 - Метрики оценки качества при минимизации FPR

Метрика	Формула	Роль в Оценке Низкого FPR
Precision (Точность)	$\frac{TP}{TP + FP}$	Критически важна. Напрямую измеряет долю реального мошенничества среди всех помеченных как мошенничество. Высокая Precision означает низкий FPR и минимизацию Cost of False Positives (CFP), что снижает нагрузку на операционные команды.
AUC-PR (Area Under the Precision-Recall Curve)	$\sum_{i=1}^{n-1} (R_{i+1} - R_i) P_{i+1}$	Золотой стандарт для несбалансированных данных. В отличие от ROC, PR-кривая игнорирует True Negatives, фокусируясь исключительно на производительности миноритарного класса. AUC-PR является более подходящей метрикой для описания способности модели к захвату данных о мошенничестве [4].

Использование AUC-PR позволяет оценить потенциал модели по сохранению высокого Recall (минимизация финансовых потерь) при агрессивном смещении порога в сторону высокой Precision (минимизация операционных затрат).

Полученные результаты согласуются с современными международными исследованиями в области обнаружения финансового мошенничества. Так, Almalki и Masud [3] показали, что применение ансамблевых моделей Stacking в сочетании с методами Explainable AI позволяет одновременно повысить интерпретируемость моделей и сократить количество ложноположительных срабатываний. Кроме того, систематический обзор Chen и соавт.

AI с ансамблевым обучением позволяет одновременно повысить точность обнаружения мошеннических операций и обеспечить интерпретируемость принимаемых моделью

[4] подтверждает, что современные исследования всё чаще ориентированы на разработку гибридных архитектур, объединяющих ансамблевые методы и глубокое обучение для достижения оптимального баланса между высокой точностью обнаружения и минимизацией False Positive Rate. Эти выводы подтверждают актуальность результатов настоящего исследования.

В последние годы особое внимание уделяется повышению прозрачности и интерпретируемости моделей искусственного интеллекта при выявлении финансового мошенничества. Так, D. Vijayanand и G. S. Smrithy [5] показали, что интеграция методов Explainable решений. В свою очередь, S. K. Aljunaid, S. J. Almheiri, H. Dawood и M. A. Khan [6] предложили модель федеративного обучения, основанную на технологиях Explainable AI, обеспечивающую

безопасное и прозрачное выявление финансового мошенничества в распределённых банковских системах при сохранении конфиденциальности данных.

ВЫВОДЫ

Результаты обзора подтверждают, что создание операционно эффективной системы обнаружения мошенничества требует перехода от традиционных методов к многоуровневым гибридным ансамблевым архитектурам, оптимизированным под метрики Precision и AUC-PR. Для повышения точности и уменьшения количества ложных тревог (FP) необходимо придерживаться приоритизации гибридации. Создавайте Layer 0, сочетающий мощные градиентные бустинги (XGBoost, CatBoost) с методами обнаружения аномалий (Autoencoder, Isolation Forest). AD-модели должны использоваться для генерации *дополнительного признака аномальности*. Гибридная модель Layer 2 (GBDT) затем учится точно фильтровать эти аномалии, классифицируя как фрод только те, которые соответствуют известным мошенническим паттернам, тем самым контролируя высокий FPR, присущий чистым AD-методам.

Выбирайте архитектуру Blending для производственного развертывания (MLOps) из-за ее простоты, скорости и низкого риска утечки целевых данных (Target Leakage), в отличие от сложных схем кросс-валидации Stacking. Мета-классификатор (Layer 2) должен быть обучен на основании Cost-Sensitive Learning (обучения с учетом стоимости). Это позволяет явно инкорпорировать денежные затраты на FP и FN в функцию потерь или на этапе прогнозирования (Cost Classification), что приводит к прямому управлению компромиссом между финансовым риском (FN) и операционным риском (FP). Для борьбы с классовым дисбалансом используйте техники сэмплирования (SMOTE, ADASYN) только на обучающей выборке и только после разделения данных, чтобы избежать утечки информации и нереалистичных результатов.

Внедряйте архитектуры, поддерживающие интерпретируемость (XAI), например, через использование SHAP для анализа решений

ансамбля. Это необходимо для обеспечения регуляторного комплаенса и повышения доверия операционных команд к системе.

Научная новизна заключается в подтверждении превосходства гибридных Stacking/Blending архитектур, которые эффективно преодолевают ограничения, присущие как традиционным supervised, так и unsupervised методам применительно к FPR. Практическая ценность состоит в предоставлении конкретных рекомендаций по выбору архитектуры (Blending для MLOps), метрик (Precision, AUC-PR) и методов оптимизации (Cost-Sensitive Learning), позволяющих финансовым учреждениям проектировать системы, которые значительно снижают операционные расходы, связанные с ложными тревогами, одновременно укрепляя защиту от финансового мошенничества.

Авторский вклад (таксономия CRediT):

И.А. Жамель – концептуализация исследования, разработка методологии, анализ научной литературы, проведение анализа данных, подготовка первоначальной версии рукописи. **А.С. Смагулова** – рецензирование и редактирование рукописи, научное руководство исследованием. Все авторы ознакомились с окончательной версией рукописи и одобрили её к публикации.

Финансирование. Исследование выполнено без привлечения внешнего финансирования.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности. Авторы выражают благодарность Карагандинскому техническому университету имени Абылкаса Сагинова за поддержку, оказанную при выполнении исследования.

Авторское право © 2026 принадлежит автору(ам). Данная статья распространяется на условиях открытого доступа в соответствии с лицензией Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International (**CC BY-SA 4.0**). Лицензия разрешает свободное использование, распространение и воспроизведение в любой форме при условии обязательного указания авторства и сохранения той же лицензии для производных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Бобоназаров Р. Ч. Проблема дисбаланса классов в задаче противодействия мошенничеству: метрики, сэмплирование и свёрточные нейронные сети // Безопасность информационных технологий = IT Security. 2025. Т. 32. № 2.
- [2] Waspada I., Bahtiar N., Wirawan P. W., Awan B. D. A. *Performance Analysis of Isolation Forest Algorithm in Fraud Detection of Credit Card Transactions* // Khazanah Informatika. 2020. Vol. 6. No. 2.

- [3] Almalki F., Masud M. *Financial Fraud Detection Using Explainable AI and Stacking Ensemble Methods* // arXiv. 2025. arXiv:2505.10050. Available at: <https://arxiv.org/pdf/2505.10050>.
- [4] Chen Y., Zhao C., Xu Y., Nie C., Zhang Y. *Year-over-Year Developments in Financial Fraud Detection via Deep Learning: A Systematic Literature Review* // arXiv. 2025. arXiv:2502.00201. Available at: <https://arxiv.org/pdf/2502.00201>.
- [5] D. Vijayanand and G. S. Smrithy, "Explainable AI-Enhanced Ensemble Learning for Financial Fraud Detection in Mobile Money Transactions," *Intelligent Decision Technologies*, vol. 19, no. 1, pp. 52–67, 2025, doi: 10.1177/18724981241289751.
- [6] Aljunaid S. K., Almheiri S. J., Dawood H., Khan M. A. Secure and Transparent Banking: Explainable AI-Driven Federated Learning Model for Financial Fraud Detection // *Journal of Risk and Financial Management*. 2025. Vol. 18. No. 4. Art. 179. doi: 10.3390/jrfm18040179.

REFERENCES

- [1] R. Ch. Bobonazarov, "Problema disbalansa klassov v zadache protivodeystviya moshennichestvu: metriki, semplirovanie i svertochnye neyronnye seti (*The Class Imbalance Problem in Fraud Prevention: Metrics, Sampling, and Convolutional Neural Networks*)," *IT Security*, vol. 32, no. 2, 2025.
- [2] I. Waspada, N. Bahtiar, P. W. Wirawan, and B. D. A. Awan, "Performance Analysis of Isolation Forest Algorithm in Fraud Detection of Credit Card Transactions," *Khazanah Informatika*, vol. 6, no. 2, 2020
- [3] F. Almalki and M. Masud, "Financial Fraud Detection Using Explainable AI and Stacking Ensemble Methods," *arXiv*, arXiv:2505.10050, 2025. Available: <https://arxiv.org/pdf/2505.10050>.
- [4] Y. Chen, C. Zhao, Y. Xu, C. Nie, and Y. Zhang, "Year-over-Year Developments in Financial Fraud Detection via Deep Learning: A Systematic Literature Review," *arXiv*, arXiv:2502.00201, 2025. Available: <https://arxiv.org/pdf/2502.00201>
- [5] D. Vijayanand and G. S. Smrithy, "Explainable AI-Enhanced Ensemble Learning for Financial Fraud Detection in Mobile Money Transactions," *Intelligent Decision Technologies*, vol. 19, no. 1, pp. 52–67, 2025, doi: 10.1177/18724981241289751.
- [6] Aljunaid S. K., Almheiri S. J., Dawood H., Khan M. A. Secure and Transparent Banking: Explainable AI-Driven Federated Learning Model for Financial Fraud Detection // *Journal of Risk and Financial Management*. 2025. Vol. 18. No. 4. Art. 179. doi: 10.3390/jrfm18040179.

ИТ-ТЕХНОЛОГИИ, ЭНЕРГЕТИКА, АВТОМАТИЗАЦИЯ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

DOI: <https://www.doi.org/10.53002/117>

MUSIC GENRE CLASSIFICATION USING MACHINE LEARNING METHODS

Mubarakova A.E.

*Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan
Corresponding author e-mail: greykevin3301@gmail.com*

Author information:

Mubarakova A.E. - Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan. E-mail: greykevin3301@gmail.com

Abstract. The article discusses the task of automatic music genre classification using machine learning methods. An approach based on the analysis of acoustic characteristics of musical compositions and the application of the Random Forest algorithm is proposed. Experiments were conducted on the GTZAN dataset containing 1000 audio recordings of 10 music genres. As a result, a classification accuracy of 77.5% was achieved, and the most significant acoustic features for genre distinction were determined. The obtained results demonstrate the promise of the proposed approach for tasks of automatic organization of music libraries and development of recommendation systems.

Keywords: music genre classification, machine learning, acoustic features, Random Forest, audio signal processing, GTZAN, artificial intelligence, data analysis.

МУЗЫКАЛЬҚ ЖАНРЛАРДЫ МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІ АРҚЫЛЫ ЖІКТЕУ

Мубаракова А.Е.

*Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан
Автор-корреспондент e-mail: greykevin3301@gmail.com*

Автор туралы ақпарат:

А.Е. Мубаракова - Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан. E-mail: greykevin3301@gmail.com

Аңдатпа. Мақалада музыкалық жанрларды автоматты жіктеу мәселесі машиналық оқыту әдістерін қолдану арқылы қарастырылады. Музыкалық композициялардың акустикалық сипаттамаларын талдауға және Random Forest алгоритмін қолдануға негізделген тәсіл ұсынылды. Тәжірибелер 10 музыкалық жанрдың 1000 аудиожазбасын қамтитын GTZAN деректер жинағында жүргізілді. Нәтижесінде жіктеу дәлдігі 77,5% қол жеткізілді, жанрларды ажырату үшін ең маңызды акустикалық белгілер анықталды. Алынған нәтижелер музыкалық кітапханаларды автоматты ұйымдастыру және ұсыныс жүйелерін әзірлеу міндеттері үшін ұсынылған тәсілдің перспективалылығын көрсетеді.

Түйінді сөздер: музыкалық жанрларды жіктеу, машиналық оқыту, акустикалық белгілер, Random Forest, аудиосигналдарды өңдеу, GTZAN, жасанды интеллект, деректерді талдау.

КЛАССИФИКАЦИЯ МУЗЫКАЛЬНЫХ ЖАНРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Мубаракова А.Е.

*Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан
Автор-корреспондент e-mail: greykevin3301@gmail.com*

Информация об авторе:

Мубаракова А.Е. - Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан,
E-mail: greykevin3301@gmail.com

Аннотация. В статье рассматривается задача автоматической классификации музыкальных жанров с использованием методов машинного обучения. Предложен подход, основанный на анализе акустических характеристик музыкальных композиций и применении алгоритма Random Forest. Эксперименты проводились на датасете GTZAN, содержащем 1000 аудиозаписей 10 музыкальных жанров. В результате достигнута точность классификации 77,5%, определены наиболее значимые акустические признаки для различения жанров. Полученные результаты демонстрируют перспективность предложенного подхода для задач автоматической организации музыкальных библиотек и разработки рекомендательных систем.

Ключевые слова: классификация музыкальных жанров, машинное обучение, акустические признаки, Random Forest, обработка аудиосигналов, GTZAN, искусственный интеллект, анализ данных.

ОСНОВНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Сравнительный анализ современных методов машинного обучения показал, что использование ансамблевого алгоритма Random Forest на основе акустических характеристик музыкальных произведений обеспечивает устойчивую точность классификации музыкальных жанров и позволяет эффективно использовать модель в интеллектуальных музыкальных сервисах.

ВВЕДЕНИЕ

Современный объем музыкального контента в цифровых библиотеках требует разработки эффективных методов автоматической категоризации. По данным исследований [1], ежедневно на стриминговых платформах появляется более 60 тысяч новых музыкальных композиций, что делает ручную классификацию практически невозможной. Традиционные подходы, основанные на метаданных и пользовательских тегах, становятся недостаточно эффективными в условиях быстрого роста количества музыкальных произведений [2].

Актуальность исследования обусловлена потребностями музыкальных стриминговых платформ в точных и эффективных алгоритмах категоризации контента, а также необходимостью разработки интеллектуальных рекомендательных систем, учитывающих акустические особенности музыкальных произведений [3]. Существующие системы классификации часто ограничиваются анализом метаданных, что не позволяет учитывать объективные акустические характеристики музыки.

Целью настоящего исследования является разработка модели классификации музыкальных жанров на основе анализа акустических характеристик с использованием методов машинного обучения. Задачи исследования включают: анализ и подготовку музыкальных данных, извлечение акустических признаков,

построение и оценку классификационной модели, определение наиболее значимых признаков для различения жанров.

Пробел в исследованиях. Несмотря на значительное количество исследований, посвящённых автоматической классификации музыкальных жанров, большинство существующих работ ориентировано либо на применение глубоких нейронных сетей, либо на анализ ограниченного набора акустических признаков. При этом сравнительная оценка классических ансамблевых алгоритмов машинного обучения с точки зрения их эффективности, интерпретируемости и практической применимости для задач музыкальной классификации остаётся недостаточно представленной.

Научная новизна. Научная новизна исследования заключается в разработке и экспериментальной оценке модели классификации музыкальных жанров на основе алгоритма Random Forest с использованием расширенного набора акустических признаков. Определены наиболее информативные характеристики аудиосигнала, оказывающие наибольшее влияние на качество классификации музыкальных произведений.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Датасет и предобработка данных

Для проведения экспериментов использовался публичный датасет GTZAN [4], содержащий 1000 музыкальных фрагментов продолжительностью 30 секунд, равномерно распределённых по 10 жанрам: blues, classical, country, disco, hip-hop, jazz, metal, pop, reggae, rock. Распределение жанров в датасете представлено на рисунке 1.

Из исходных аудиозаписей были извлечены 58 акустических признаков с использованием библиотеки librosa для Python [5]. Процесс

извлечения признаков включал следующие этапы:

1. Загрузка аудиофайлов и преобразование в моно-сигнал;
2. Вычисление мел-кепстральных коэффициентов (MFCC);

3. Анализ спектральных характеристик;
 4. Расчет ритмических параметров;
 5. Извлечение хроматических features;
- Основные группы извлеченных признаков представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Группы акустических признаков

Группа признаков	Количество	Примеры
MFCC	20	mfcc1, mfcc2, ..., mfcc20
Спектральные	15	spectral_centroid, spectral_bandwidth
Ритмические	8	tempo, beats
Хроматические	10	chroma_stft
Статистические	5	rms, zero_crossing_rate

Методы машинного обучения

Для классификации музыкальных жанров был применен алгоритм Random Forest [6], показавший высокую эффективность в задачах многоклассовой классификации. Выбор данного алгоритма обусловлен его устойчивостью к переобучению и способностью работать с данными высокой размерности.

Модель настраивалась с использованием следующих гиперпараметров:

1. количество деревьев: 100
2. критерий разделения: энтропия
3. максимальная глубина: не ограничена
4. минимальное количество samples для разделения: 2

Оценка качества модели проводилась с использованием метрик accuracy, precision, recall и F1-score. Данные были разделены на обучающую (800 samples, 80%) и тестовую (200 samples, 20%) выборки с сохранением стратификации по классам. Для обеспечения воспроизводимости результатов установлен random_state = 42.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Эффективность классификации

Предложенная модель продемонстрировала точность 77,5% на тестовой выборке. Детальный анализ результатов показал различную эффективность классификации для отдельных жанров (таблица 2).

Таблица 2 - Результаты классификации по жанрам

Жанр	Precision	Recall	F1-score	Support
classical	0,86	0,95	0,90	20
Жанр	Precision	Recall	F1-score	Support
pop	0,86	0,90	0,88	20
metal	0,89	0,85	0,87	20
jazz	0,77	0,85	0,81	20
blues	0,79	0,75	0,77	20
reggae	0,76	0,80	0,78	20
country	0,71	0,75	0,73	20
hiphop	0,65	0,75	0,70	20
disco	0,71	0,60	0,65	20
rock	0,73	0,55	0,63	20

Наивысшие показатели достигнуты для жанров classical ($F1=0,90$) и pop ($F1=0,88$), что объясняется их ярко выраженными акустическими особенностями. Классическая музыка характеризуется четкой структурой и преобладанием акустических инструментов, в то время как поп-музыка имеет стандартизированную форму и производственное качество.

Наибольшие трудности возникли при классификации жанров rock ($F1=0,63$) и disco ($F1=0,65$), что может быть связано с их акустической схожестью и пересекающимися характеристиками. Матрица ошибок (рисунок 2) демонстрирует основные случаи неправильной классификации.

Анализ важности признаков

Анализ важности признаков показал, что наибольший вклад в классификацию вносят следующие характеристики (рисунок 3):

1. chroma_stft_mean (4,44%)
2. percept_r_var (3,77%)
3. length (3,66%)
4. chroma_stft_var (3,13%)
5. rms_var (3,08%)

Полученные результаты согласуются с исследованиями [7], подтверждающими значимость хроматических и спектральных характеристик для различения музыкальных жанров. Хроматические признаки (chroma_stft) отражают гармоническое содержание музыки, в то время как перцептуальные характеристики (percept_r) связаны с восприятием громкости и тембра.

Современные исследования подтверждают дальнейшее развитие методов автоматической классификации музыкальных жанров на основе ансамблевых алгоритмов и технологий искусственного интеллекта. Так, Wang и Chen [8] показали, что оптимизация алгоритма Random Forest с использованием алгоритма Sparrow Search позволяет существенно повысить качество классификации музыкальных жанров. Ahmed и соавт. [9] продемонстрировали высокую эффективность современных методов глубокого анализа аудиосигналов для автоматического распознавания музыкальных жанров, а Smith и Golcarenenj [10] подтвердили перспективность применения методов Explainable Artificial Intelligence (XAI), обеспечивающих не только высокую точность классификации, но и интерпретируемость принимаемых моделью решений. Полученные результаты согласуются с выводами настоящего исследования и подтверждают актуальность использования

алгоритма Random Forest для задач автоматической классификации музыкальных жанров.

ВЫВОДЫ

Разработана модель классификации музыкальных жанров, основанная на анализе акустических характеристик и применении алгоритма Random Forest. Экспериментально доказана эффективность предложенного подхода, достигнута точность классификации 77,5%.

Определены наиболее значимые акустические признаки для различения музыкальных жанров, что представляет практическую ценность для разработки систем автоматической категоризации музыкального контента. Наибольший вклад в классификацию вносят хроматические и спектральные

характеристики, что подтверждает важность гармонического анализа в задачах музыкальной классификации.

Полученные результаты могут быть применены в следующих областях:

1. разработка интеллектуальных рекомендательных систем;
2. автоматическая организация музыкальных библиотек;
3. создание адаптивных музыкальных плейлистов;
4. анализ музыкальных предпочтений пользователей. Перспективы дальнейших исследований включают:

1. применение глубоких нейронных сетей для анализа исходных аудиосигналов;
2. исследование временных зависимостей в музыкальных композициях;
3. адаптацию модели для решения задачи анализа эмоциональной окраски музыки;
4. разработку многомодальных подходов, сочетающих анализ аудио и метаданных.

Благодарности. Автор выражает благодарность к.т.н., доценту Когай Г.Д. за консультации и помощь в проведении исследования.

Авторское право © 2026 принадлежит автору(ам). Данная статья распространяется на условиях открытого доступа в соответствии с лицензией Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0). Лицензия разрешает свободное использование, распространение и воспроизведение в любой форме при условии обязательного указания авторства и сохранения той же лицензии для производных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] G. Tzanetakis and P. Cook, "Musical genre classification of audio signals," *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*, vol. 10, no. 5, pp. 293–302, 2002.
- [2] T. Li, M. Ogiwara, and Q. Li, "A comparative study on content-based music genre classification," in *Proceedings of the 26th Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*, 2003, pp. 282–289.
- [3] Д. А. Смирнов, *Машинное обучение и анализ данных в музыке*. М.: ИНФРА-М, 2021.
- [4] GTZAN Dataset. [Online]. Available: <http://marsyas.info/downloads/datasets.html>
- [5] B. McFee *et al.*, "librosa: Audio and music signal analysis in Python," in *Proceedings of the 14th Python in Science Conference*, 2015, pp. 18–25.
- [6] L. Breiman, "Random forests," *Machine Learning*, vol. 45, pp. 5–32, 2001.
- [7] R. Panda, R. Malheiro, and R. P. Paiva, "Audio Features for Music Emotion Recognition: A Survey," *IEEE Transactions on Affective Computing*, vol. 11, no. 2, pp. 1–20, 2020.
- [8] Y. Wang and H. Chen, "An Improved Random Forest Model for Music Genre Classification Algorithm Based on Sparrow Search Algorithm," *Applied and Computational Engineering*, vol. 77, pp. 84–90, 2024. doi: 10.54254/2755-2721/77/20240658.
- [9] M. Ahmed, U. Rozario, M. M. Kabir, Z. Aung, J. Shin, and M. F. Mridha, "Musical Genre Classification Using Advanced Audio Analysis and Deep Learning Techniques," *IEEE Open Journal of the Computer Society*, vol. 5, pp. 457–467, 2024. doi: 10.1109/OJCS.2024.3431229.
- [10] T. Smith and G. Golcarenenji, "Music Genre Recognition: An Explainable Approach," in *Proceedings of the 9th International Symposium on Innovative Approaches in Smart Technologies*. IEEE, 2025. doi: 10.1109/ISAS66241.2025.11101724.

REFERENCES

- [1] G. Tzanetakis and P. Cook, "Musical genre classification of audio signals," *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*, vol. 10, no. 5, pp. 293–302, 2002.
- [2] T. Li, M. Ogiwara, and Q. Li, "A comparative study on content-based music genre classification," in *Proc. 26th Annual Int. ACM SIGIR Conf. Research and Development in Information Retrieval*, 2003, pp. 282–289.
- [3] D. A. Smirnov, *Mashinnoye obucheniye i analiz dannykh v muzyke* [Machine Learning and Data Analysis in Music]. Moscow, Russia: INFRA-M, 2021. (In Russian).
- [4] GTZAN Dataset. Available: <http://marsyas.info/downloads/datasets.html>
- [5] B. McFee *et al.*, "librosa: Audio and music signal analysis in Python," in *Proc. 14th Python in Science Conference*, 2015, pp. 18–25.
- [6] L. Breiman, "Random forests," *Machine Learning*, vol. 45, pp. 5–32, 2001.
- [7] R. Panda, R. Malheiro, and R. P. Paiva, "Audio Features for Music Emotion Recognition: A Survey," *IEEE Transactions on Affective Computing*, vol. 11, no. 2, pp. 1–20, 2020.
- [8] Y. Wang and H. Chen, "An Improved Random Forest Model for Music Genre Classification Algorithm Based on Sparrow Search Algorithm," *Applied and Computational Engineering*, vol. 77, pp. 84–90, 2024. doi: 10.54254/2755-2721/77/20240658.
- [9] M. Ahmed, U. Rozario, M. M. Kabir, Z. Aung, J. Shin, and M. F. Mridha, "Musical Genre Classification Using Advanced Audio Analysis and Deep Learning Techniques," *IEEE Open Journal of the Computer Society*, vol. 5, pp. 457–467, 2024. doi: 10.1109/OJCS.2024.3431229.
- [10] T. Smith and G. Golcarenenji, "Music Genre Recognition: An Explainable Approach," in *Proc. 9th International Symposium on Innovative Approaches in Smart Technologies (ISAS)*. IEEE, 2025. doi: 10.1109/ISAS66241.2025.11101724.

ИТ-ТЕХНОЛОГИИ, ЭНЕРГЕТИКА, АВТОМАТИЗАЦИЯ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

DOI: <https://www.doi.org/10.53002/118>

APPLICATION OF BLOCKCHAIN TECHNOLOGY IN THE TRANSPORT AND LOGISTICS SECTOR

*Kuleshov K.I., Kogay G.D., *Kalinin A.A.*

Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

** Corresponding author email: a.kalinin@ktu.edu.kz*

Author information:

Kuleshov K.I. - Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

Kogai G.D. - Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

Kalinin A.A. - Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: a.kalinin@ktu.edu.kz

Abstract. The article addresses issues of data integrity and security regarding the technical condition of rolling stock in transport logistics. The novelty lies in the proposed blockchain-based system architecture using smart contracts to ensure record immutability and decentralized control. The IT infrastructure of KTZ is analyzed, and integration with ERP/SCM systems is discussed. A sample smart contract with user role separation is presented. The advantages over traditional centralized systems are outlined. The study concludes that blockchain implementation can enhance transparency, fault tolerance, and trust within JSC "NC "KTZ" as part of digital transformation in logistics.

Keywords: blockchain, logistics, KTZ, transport, smart contract, ERP, SCM, rolling stock.

КӨЛІК-ЛОГИСТИКА САЛАСЫНДА БЛОКЧЕЙН ТЕХНОЛОГИЯСЫН ҚОЛДАНУ

*Кулешов К.И., Когай Г.Д., *Калинин А.А.*

Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан

** Автор-корреспондент e-mail: a.kalinin@ktu.edu.kz*

Авторлар туралы ақпарат:

Кулешов Қ.И. - Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан

Когай Г.Д. - Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан

Калинин А.А. - Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан, e-mail: a.kalinin@ktu.edu.kz

Аңдатпа. Мақалада жылжымалы құрамның техникалық жағдайы туралы мәліметтердің шынайылығы мен қауіпсіздігі мәселелері қарастырылады. Зерттеудің жаңалығы – жазбалардың өзгермейтіндігін және децентрализован бақылауды қамтамасыз ететін смарт-келісімшарттармен блокчейн жүйесінің архитектурасын ұсыну. ҚТЖ-ның IT-инфрақұрылымы талданып, блокчейнді ERP/SCM жүйелерімен біріктіру жолдары көрсетіледі. Қатысушылардың рөлдерін бөлетін смарт-келісімшарт үлгісі жасалды. Дәстүрлі орталықтандырылған жүйелермен салыстырғанда артықшылықтары анықталған. Қорытындыда блокчейнді енгізу ҚТЖ ішіндегі сенімділік пен ашықтықты арттыру құралы ретінде негізделді.

Түйінді сөздер: блокчейн, логистика, ҚТЖ, көлік, смарт-келісімшарт, ERP, SCM, жылжымалы құрам.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН В ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СФЕРЕ

*Кулешов К.И., Когай Г.Д., *Калинин А.А.*

Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан

** Автор-корреспондент e-mail: a.kalinin@ktu.edu.kz*

Информация об авторах:

Кулешов К.И. - Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан

Когай Г.Д. - Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан

Калинин А.А. - Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан, e-mail: a.kalinin@ktu.edu.kz

Аннотация. В статье рассматриваются проблемы достоверности и безопасности данных о техническом состоянии подвижного состава в транспортной логистике. Новизна исследования заключается в предложении архитектуры блокчейн-системы с использованием смарт-контрактов, обеспечивающей неизменность записей и децентрализованный контроль. Проведен анализ ИТ-инфраструктуры КТЖ, рассмотрена интеграция блокчейна с ERP/SCM-системами. Разработан фрагмент смарт-контракта с разграничением ролей участников. Описаны преимущества над традиционными централизованными системами. Сделан вывод о целесообразности внедрения блокчейн для повышения прозрачности, отказоустойчивости и доверия между подразделениями АО «НК «КТЖ» в рамках цифровой трансформации логистики.

Ключевые слова: блокчейн, логистика, КТЖ, транспорт, смарт-контракт, ERP, SCM, подвижной состав.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Современные технологии распределённых реестров создают новые возможности для цифровой трансформации транспортно-логистических процессов. Использование блокчейн-платформ совместно со смарт-контрактами обеспечивает повышение прозрачности, безопасности и достоверности данных при управлении жизненным циклом подвижного состава.

ВВЕДЕНИЕ

Современные железнодорожные компании стремятся к цифровизации бизнес-процессов с целью повышения эффективности перевозок и оптимизации расходов. В рамках госпрограммы «Цифровой Казахстан» АО «НК «КТЖ» разработала программу «Цифровая железная дорога» для автоматизации основных процессов (электронная коммерция, промышленный интернет, аналитика больших данных). Значительное внимание уделено оптимизации документооборота и учету подвижного состава: так, например, в АО «КТЖ Экспресс» внедрена информационно-расчетная система перевозок с модулями

«Диспетчеризация, учет и управление парком подвижного состава» и «Коммерческая работа, планирование и расчеты». Тем не менее существующие системы по-прежнему опираются на централизованные БД, в которых данные о техническом состоянии вагонов могут быть фрагментированы и уязвимы к искажению.

Информационные потоки становятся неотъемлемой частью логистики наряду с материальными и финансовыми потоками. Чем больше звеньев в цепи, тем труднее контролировать процессы и согласовывать данные между участниками. Текущие показатели

качества и эффективности перевозок остаются низкими, что побуждает искать новые цифровые решения. Одной из наиболее перспективных технологий является блокчейн, обеспечивающий децентрализованную запись транзакций и неизменяемость данных [1, 2]. Блокчейн способен решать упомянутые проблемы, снижая стоимость транспортировки, препятствуя фальсификации информации и ускоряя обработку запросов. При этом реализация блокчейна в логистике сталкивается с дополнительными организационными, финансовыми и техническими проблемами, требующими отдельного рассмотрения и новых регуляторных подходов.

Пробел в исследованиях. Несмотря на активное развитие блокчейн-технологий в транспортной логистике, большинство исследований рассматривает отдельные аспекты цифровизации цепочек поставок без комплексного анализа интеграции блокчейн-платформ с существующими ERP/SCM-системами железнодорожной отрасли и механизмами управления техническим состоянием подвижного состава.

Научная новизна. Научная новизна исследования заключается в разработке концептуальной архитектуры разрешённой блокчейн-системы для транспортно-логистической отрасли с интеграцией ERP/SCM-платформ и применением смарт-контрактов, обеспечивающих разграничение ролей участников, неизменность записей и повышение доверия к данным.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Логистические процессы на железных дорогах включают приём, распределение и

хранение грузов, планирование маршрутов и управление подвижным составом. ERP- и SCM-системы объединяют разрозненные операции по единой транзакционной схеме, создавая централизованную базу данных для учёта перевозок и складских операций. В таких системах (например, 1С:Предприятие, SAP, Oracle) реализуются модули управления запасами, планирования перевозок и учёта технического обслуживания. Ключевыми действиями при этом являются прием грузов, их распределение по маршрутам, контроль остатков и логистика складов. ERP позволяет отслеживать движение контейнеров и запчастей, генерировать отчёты и планировать ресурсы, что значительно ускоряет обработку данных и улучшает качество управления [3].

Рисунок 1 иллюстрирует информационные потоки в современной интермодальной транспортно-логистической системе. В процессе участвуют оператор станции, руководитель, диспетчер и машинист. Телеграмма оформляется, утверждается, передаётся через ИС и вручается машинисту. Базы данных в таких системах могут быть изменены или повреждены, а один отказ сервера способен парализовать всю учётную систему. Отсутствие прозрачности между разными участниками цепочки снижает доверие – данные часто передаются вручную или через закрытые интерфейсы. В результате на практике возможны задержки, ошибки ввода и мошеннические изменения данных.

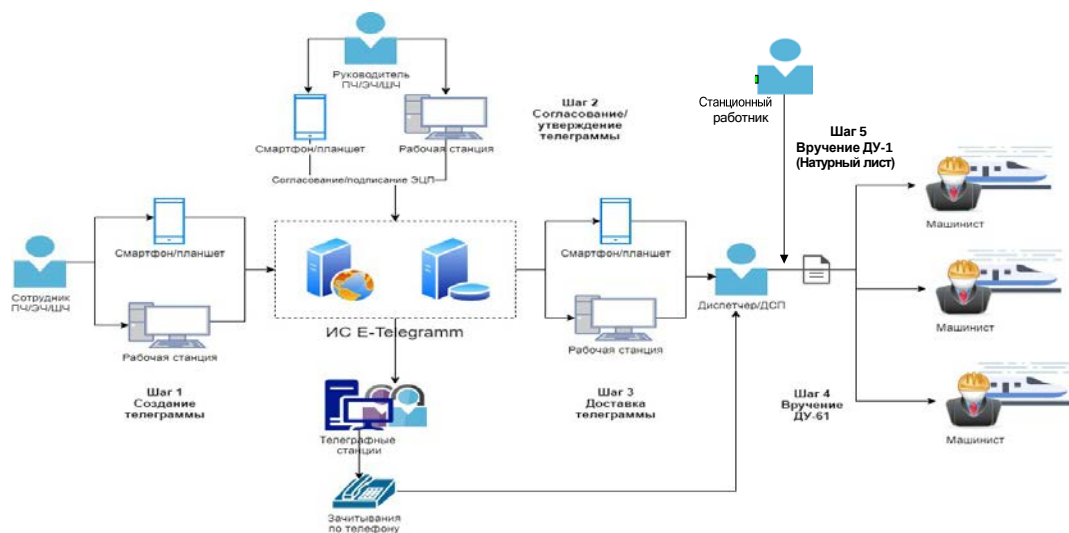


Рисунок 1 - Процесс формирования и обработки поездной телеграммы в ИС E-Telegram АО «НК «КТЖ»

В контексте АО «НК «КТЖ» интеграция блокчейна с существующими ERP/SCM-платформами может проходить через API-шлюзы или промежуточное ПО. Например, используемая на АО «НК

«КТЖ» электронная торговая платформа по грузоперевозкам реализует обмен данными между грузоотправителями и операторами. Данные о грузах, состоянии подвижного состава и плановых ремонтах могут передаваться из ERP-систем (или 1С) в блокчейн-узлы через коннекторы. Это обеспечивает единую доверенную запись событий: каждая операция (подача поезда, ремонт, отгрузка) фиксируется на смарт-контракте и становится недоступной для несанкционированного изменения [4]. Matenga и Mrofu описали блокчейн-ориентированную архитектуру SCM для производства железнодорожных вагонов. В их решении

цепочки поставок металлопродукции интегрированы с разрешённой блокчейн-сетью и облачными сервисами, что обеспечило отслеживание происхождения деталей и прозрачность данных в реальном времени. В литературных источниках приводятся примеры использования блокчейна для контроля качества и предотвращения контрафакта в цепочках поставок: например, система отслеживания лекарств или продуктов питания использует смарт-контракты для проверки подлинности товаров, улучшая безопасность и минимизируя задержки. Эти кейсы демонстрируют, что применение блокчейна в логистике и SCM повышает надёжность учёта, снижает риск ошибок и делает процессы более прозрачными [4, 5, 6].

Современные исследования подтверждают эффективность применения блокчейн-технологий

не только в общих цепочках поставок, но и в транспортной инфраструктуре железнодорожной отрасли. В работе A blockchain-based trusted sharing method for railway transportation BIM data [6] предложена архитектура безопасного обмена данными для железнодорожного транспорта на основе permissioned blockchain, обеспечивающая целостность информации, контроль доступа и безопасное взаимодействие участников. Кроме того, Aslam и соавт. [7] показали, что использование блокчейн-платформ способствует повышению прозрачности логистических процессов, улучшению обмена данными и укреплению доверия между участниками цепочек поставок. Эти результаты согласуются с предлагаемой в настоящем исследовании архитектурой интеграции блокчейн-технологий с ERP/SCM-системами АО «НК «КТЖ».

Архитектура предлагаемой системы базируется на разрешённой (permissioned) блокчейн-сети с учетом ролей участников. Такая сеть организуется консорциумом ключевых игроков (например, АО

«НК «КТЖ», сервисные центры, поставщики), работающих по алгоритму Proof of Authority (PoA) или аналогичным механизмам. Узлы сети хранят копию распределённого реестра и совместно проходят консенсус по каждой транзакции. Таким образом, каждый узел является независимым валидатором, что исключает единую точку отказа: даже при выходе из строя части узлов сеть продолжит работу за счёт оставшихся копий реестра. Для повышения отказоустойчивости часто применяется кластеризация узлов и репликация данных (например, на базе Hyperledger Fabric или Quorum), что обеспечивает постоянную доступность логов и устойчивость к сетевым сбоям.

В архитектуру системы входят следующие основные компоненты:

1. Блокчейн-узлы. Серверы-валидаторы, отвечающие за запись и проверку транзакций в блокчейн. Узлы выполняют смарт-контракты и обновляют локальную копию реестра. Благодаря распределённой структуре каждый участник сети имеет идентичную копию данных, а согласование происходит через протокол консенсуса. Это обеспечивает целостность и неизменность информации – данные нельзя «подправить» задним числом.

2. Шлюзы данных (Gateway). Промежуточное ПО или сервисы, соединяющие внешние системы (ERP, SCM, базы данных, IoT-устройства) с блокчейном. Например, коннектор

может подписывать транзакции на основе событий ERP (новый заказ, завершённый ремонт) и отправлять их в сеть. Такие шлюзы конвертируют корпоративные данные в формат, понятный смарт-контрактам, и гарантируют согласованность бизнес-логики. Интеграция ERP/SCM с блокчейном часто реализуется через API или шину данных; известный пример – объединение ERP (1C, SAP) и WMS через решение типа Enterprise Service Bus с последующей записью в распределённый реестр.

3. Смарт-контракты. Самостоятельный код, развернутый в блокчейн, реализующий бизнес-логику (например, создание и отслеживание задач ремонта, управление документами перевозок). Смарт-контракты автоматически исполняются при наступлении заданных условий, исключая необходимость доверенного посредника. Они могут выполнять такие функции, как проверка авторизации участников (роль пользователя), обновление статуса перевозки, расчёт оплаты и т.д. В роли исполнителя и хранителя данных выступает каждый узел сети: контракт сохраняет историю операций, которая доступна всем разрешённым участникам. При этом сетевая модель Proof of Authority (PoA) или аналогичная позволяет задавать ролевые права доступа на уровне контрактов. Например, контракт может позволять только роли «Оператор» создавать заявку на ремонт, а «Ремонтнику» – пометать её как выполненную.

Перечисленные компоненты формируют совместное решение: бизнес-процессы на АО «НК

«КТЖ» (заказы на перевозку, графики обслуживания) проходят через ERP, поступают на шлюз и приводят к транзакциям в блокчейн; узлы сети записывают и верифицируют эти транзакции; смарт-контракты автоматически изменяют состояние логистической цепочки. Такая архитектура обеспечивает единую «версию правды», повышая прозрачность и снимая часть когнитивной нагрузки при аудитах.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Технология блокчейн позволяет надёжно фиксировать каждую операцию в цепочке поставок без участия центрального регулятора: при добавлении нового блока все узлы сети проверяют его подлинность, что исключает возможность подделки данных.

Анализ преимуществ блокчейн-подхода в логистике показывает следующие ключевые эффекты [5]:

1. Сокращение ошибок в документообороте

благодаря автоматизированному заполнению и сверке записей;

2. Упрощение работы участников цепочки (производителей, перевозчиков, экспортеров) за счет единой децентрализованной платформы;

3. Прозрачность и достоверность информации об этапах поставки и характеристиках грузов (затраченное время, место, ответственные лица);

4. Ускорение документооборота и сокращение длительности логистического цикла за счет синхронизации данных и мгновенного подтверждения транзакций;

5. Формирование единой инфраструктуры управления товарами по всей цепочке поставок, что облегчает взаимодействие между разными участниками.

В условиях КТЖ можно представить блокчейн-сеть как консорциум между главным офисом и локальными сервис-центрами. Узлы сети могут размещаться на распределённых площадках (например, центры обработки данных Астаны, Алматы и регионах) для географической реплики. Благодаря этому система устойчива к региональным сбоям – отказ одного узла не приводит к потере данных, поскольку все транзакции зеркалируются другими нодами. Гибкие механизмы консенсуса (например, выбор лидера среди узлов) обеспечивают быстрое подтверждение операций и автоматическое восстановление при сетевых сбоях.

Конфиденциальность в корпоративной цепочке поставок особенно важна: коммерческая информация (цены, условия контрактов, объёмы запасов) не должна быть доступна всем участникам. В разрешённой блокчейн-сети этой задачи добиваются несколькими способами. Во-первых, уровни доступа настраиваются ролью: например, Hyperledger Fabric поддерживает приватные «каналы», через которые обмениваются данными только уполномоченные участники. Во-вторых, применяются криптографические методы: конфиденциальные транзакции (как в Quorum) позволяют проверять правильность операции без раскрытия её деталей. Третье – использование специальных технологий приватности, таких как доказательства с нулевым разглашением (ZKP). Они дают возможность, например, подтвердить качество ремонта или срок выполнения доставки, не раскрывая сами параметры. Таким образом, блокчейн в КТЖ может сочетать проверяемость и приватность [2]: каждый участник видит только те данные, на которые у него есть право, а остальные сведения остаются зашифрованными или неподписанными в общей цепи.

Кроме того, внедрение блокчейна на КТЖ должно учитывать интеграцию с уже существующими системами. В частности, сенсоры для предиктивного обслуживания уже установлены на локомотивах и вагонах. Данные с этих датчиков (температура, вибрация и др.) могут передаваться в блокчейн-платформу в виде зашифрованных логов, что позволит отслеживать состояние техники в режиме реального времени и оценивать надёжность узлов. Аналогично, электронная торговая платформа КТЖ может использовать смарт-контракты для проведения автоматических аукционов грузовых мест: все участники видят текущие заявки и делают ставки прозрачным образом. Поскольку блокчейн обеспечивает целостность и неизменность записей, такая система снижает риски мошенничества и ошибок операционной совместимости со смежными системами – например, с биржами грузовых заявок или международными регуляторами.

В сумме, блокчейн-модель на железной дороге выгодно отличается от традиционных систем тем, что предлагает распределённое хранение данных и крипто-протоколы для безопасности. У КТЖ при этом появляется независимый уровень верификации: даже при злоумышленных попытках фальсифицировать отчёты о ремонтах или грузах, эти изменения обнаруживаются участниками сети через механизм консенсуса. Таким образом, внедрение блокчейна может значительно повысить надёжность операций и упростить интеграцию с ERP/SCM (например, через двусторонние шлюзы), сохраняя при этом конфиденциальность коммерческих данных.

Ниже приведён упрощённый пример смарт-контракта для управления заявками на ремонт железнодорожного оборудования с разделением ролей. В контракте используются ролевые права доступа (через OpenZeppelin AccessControl), чтобы только определённые категории пользователей могли выполнять соответствующие действия. Код иллюстрирует основные структуры и функции, без проработки всех возможных проверок и исключений.

```
// SPDX-License-Identifier: MIT pragma
solidity ^0.8.0;
import
"@openzeppelin/contracts/access/AccessControl.sol";
// Контракт управления ремонтными
заявками contract Maintenance is AccessControl {
    // Определяем роли
    bytes32 public constant OPERATOR_ROLE =
keccak256("OPERATOR_ROLE"); bytes32 public
constant REPAIRMAN_ROLE =
```



```

keccak256("REPAIRMAN_ROLE"); bytes32 public
constant CONTROLLER_ROLE =
keccak256("CONTROLLER_ROLE");
// Структура заявки на ремонт struct Task {
uint id;
string description; address operator; address
repairman; bool completed; bool verified;
}
uint public nextTaskId; mapping(uint => Task)
public tasks;

constructor() {
// Дефолтный админ — адрес деплоя
_setupRole(DEFAULT_ADMIN_ROLE,
msg.sender);
// Роли OPERATOR, REPAIRMAN,
CONTROLLER управляются админом
_setRoleAdmin(OPERATOR_ROLE,
DEFAULT_ADMIN_ROLE);
_setRoleAdmin(REPAIRMAN_ROLE,
DEFAULT_ADMIN_ROLE);
_setRoleAdmin(CONTROLLER_ROLE,
DEFAULT_ADMIN_ROLE);
}
// Оператор создает новую заявку на ремонт
function createTask(string memory desc,
address assignedRepairman) public
onlyRole(OPERATOR_ROLE) {
tasks[nextTaskId] = Task(nextTaskId, desc,
msg.sender, assignedRepairman, false, false);
nextTaskId++;
}
// Ремонтник отмечает заявку как
выполненную
function completeTask(uint taskId) public
onlyRole(REPAIRMAN_ROLE) {
require(tasks[taskId].repairman == msg.sender, "Not
assigned repairman"); tasks[taskId].completed = true;
}
// Контролер проверяет и подтверждает
выполненную заявку
function verifyTask(uint taskId) public
onlyRole(CONTROLLER_ROLE) {
require(tasks[taskId].completed, "Task not
completed"); tasks[taskId].verified = true;
}
}

```

В этом контракте адресам с ролями OPERATOR, REPAIRMAN и CONTROLLER присвоены разные полномочия. Только оператор (Operator) может создать задачу createTask, только назначенный ремонтник (Repairman) — отметить её выполненной, а контролёр (Controller) — подтвердить выполнение. Модификатор onlyRole из AccessControl гарантирует, что функции не вызовет постороннее лицо. Такой подход

демонстрирует принцип разделения обязанностей и контроля доступа в смарт-контрактах — роли обеспечивает четкое разграничение функций в системе без централизованного надзора.

ВЫВОДЫ

Проведенный анализ показывает, что применение блокчейн-технологий в транспортно-логистическом комплексе открывает новые возможности для повышения прозрачности цепочек поставок и надежности документооборота. Установлено, что блокчейн позволяет сократить влияние человеческого фактора при обработке данных, снизить количество ошибок и ускорить передачу ключевой информации между участниками процесса. Взаимодействие блокчейна с другими

цифровыми технологиями и упор на децентрализацию создают основу для конкурентоспособности российских транспортных услуг на мировом рынке [2]. Основные проблемы (идентификация, совместимость систем, затраты) могут быть преодолены по мере развития стандартов и адаптации регуляторных механизмов. В итоге блокчейн должен стать частью программы цифровизации транспортно-логистической отрасли, обеспечивая согласованность информационных и материальных потоков от производителя до конечного потребителя.

Авторский вклад (таксономия CRediT):

К.И. Кулешов — концептуализация исследования, разработка методологии, анализ литературы, программная реализация архитектуры блокчейн-системы, подготовка первоначальной версии рукописи. **Г.Д. Когай** — исследование, сбор и анализ данных, разработка архитектуры интеграции ERP/SCM-систем, визуализация результатов, валидация. **А.А. Калинин** — научное руководство исследованием, формальный анализ, рецензирование и редактирование рукописи, администрирование проекта. Все авторы ознакомились с окончательной версией рукописи и одобрили её к публикации.

Финансирование. Исследование выполнено без привлечения внешнего финансирования.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности. Авторы выражают благодарность Карагандинскому техническому университету имени Абылкаса Сагинова за поддержку, оказанную при выполнении исследования.

Авторское право © 2026 принадлежит автору(ам). Данная статья распространяется на условиях открытого доступа в соответствии с лицензией Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0).

Лицензия разрешает свободное использование, распространение и воспроизведение в любой форме при условии обязательного указания авторства и сохранения той же лицензии для производных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Я. И. Никонова, «Применение технологии блокчейн на транспорте и в логистике», *Журнал монетарной экономики и менеджмента*, № 2, с. 43–47, 2024. doi: 10.26118/2782-4586.2024.17.83.006.
- [2] В. С. Дудин, «Перспективы и проблемы применения блокчейн-технологий в транспортной логистике», *Современная экономика: проблемы и решения*, № 10, с. 75–87, 2024. doi: 10.17308/meps/2078-9017/2024/10/75-87.
- [3] А. В. Анисимов, «Использование блокчейн-технологий в транспортных сделках», *Вестник Университета им. О. Е. Кутафина (МГЮА)*, № 1(11), с. 70–77, 2024. doi: 10.17803/2311-5998.2024.123.11.070-077.
- [4] А. С. Каргополов, М. Н. Крипак и Л. А. Кияшко, «Перспективы и возможности применения технологии блокчейн в сфере логистики», *International Journal of Advanced Studies: Transport and Information Technologies*, т. 13, № 4, с. 205–217, 2023. doi: 10.12731/2227-930X-2023-13-4-205-217.
- [5] А. А. Банщикова, К. В. Кудрявцев и А. Ю. Ковалёв, «Возможности применения технологии блокчейн при перевозке грузов в международном сообщении», *Мир транспорта*, т. 16, № 3, с. 134–154, 2018. doi: 10.30932/1992-3252-2018-16-3-13.
- [6] J. Aslam, K.-H. Lai, A. Al Hanbali, and N. Khan, "Blockchain solution for supply chains & logistics challenges: An empirical investigation," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 198, Art. no. 104134, 2025. doi: 10.1016/j.tre.2025.104134.
- [7] A. R. Harish, X. Liu, X. Wang, S. Pan, H. N. Dai, M. Li, and G. Q. Huang, "Blockchain for Logistics 4.0: A Systematic Review and Prospects," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 201, Art. no. 104269, 2025. doi: 10.1016/j.tre.2025.104269.

REFERENCES

- [1] Ya. I. Nikonova, "Primenenie tekhnologii blokchein na transporte i v logistike [Application of Blockchain Technology in Transport and Logistics]," *Zh. Monetarnoi Ekonomiki i Menedzhmenta*, no. 2, pp. 43–47, 2024. (In Russian). doi: 10.26118/2782-4586.2024.17.83.006.
- [2] V. S. Dudin, "Perspektivy i problemy primeneniya blokchein-tekhnologii v transportnoi logistike [Prospects and Challenges of Blockchain Technologies in Transport Logistics]," *Sovremennaya Ekonomika: Problemy i Resheniya*, no. 10, pp. 75–87, 2024. (In Russian). doi: 10.17308/meps/2078-9017/2024/10/75-87.
- [3] A. V. Anisimov, "Ispolzovanie blokchein-tekhnologii v transportnykh sdelkakh [Application of Blockchain Technologies in Transport Transactions]," *Vestn. Univ. im. O. E. Kutafina (MGYuA)*, no. 1(11), pp. 70–77, 2024. (In Russian). doi: 10.17803/2311-5998.2024.123.11.070-077.
- [4] A. S. Kargopolov, M. N. Kripak, and L. A. Kiyashko, "Perspektivy i vozmozhnosti primeneniya tekhnologii blokchein v sfere logistiki [Prospects and Opportunities for Blockchain Technology in Logistics]," *Int. J. Adv. Stud.: Transport Inf. Technol.*, vol. 13, no. 4, pp. 205–217, 2023. (In Russian). doi: 10.12731/2227-930X-2023-13-4-205-217.
- [5] A. A. Banshchikova, K. V. Kudryavtsev, and A. Yu. Kovalyov, "Vozmozhnosti primeneniya tekhnologii blokchein pri perevozke грузов v mezhdunarodnom soobshchenii [Application of Blockchain Technology in International Freight Transportation]," *Mir Transporta*, vol. 16, no. 3, pp. 134–154, 2018. (In Russian). doi: 10.30932/1992-3252-2018-16-3-13.
- [6] J. Aslam, K.-H. Lai, A. Al Hanbali, and N. Khan, "Blockchain solution for supply chains and logistics challenges: An empirical investigation," *Transp. Res. Part E: Logist. Transp. Rev.*, vol. 198, Art. no. 104134, 2025. doi: 10.1016/j.tre.2025.104134.
- [7] A. R. Harish, X. Liu, X. Wang, S. Pan, H. N. Dai, M. Li, and G. Q. Huang, "Blockchain for Logistics 4.0: A systematic review and prospects," *Transp. Res. Part E: Logist. Transp. Rev.*, vol. 201, Art. no. 104269, 2025. doi: 10.1016/j.tre.2025.104269.

ИТ-ТЕХНОЛОГИИ, ЭНЕРГЕТИКА, АВТОМАТИЗАЦИЯ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

DOI: <https://www.doi.org/10.53002/119>

DEVELOPMENT OF A UNIFIED SCADA/OPC UA PLATFORM FOR SPACECRAFT CONTROL

*Kutsev M.A., Kogay G.D., *Kalinin A.A.*

Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

** Corresponding author email: a.kalinin@ktu.edu.kz*

Author information:

M.A. Kutsev - Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

Kogai G.D. - Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

Kalinin A.A. - Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: a.kalinin@ktu.edu.kz

Abstract. This article presents a unified automated control system for the KazSat-2 and KazSat-3 communication satellites, developed using OPC UA and SCADA technologies. The current operation of these two satellites relies on separate, vendor-specific control complexes, which increases operator workload and raises the risk of errors. To address these challenges, the proposed system integrates widely used industrial automation tools: a SCADA software platform interacting with custom OPC UA server modules. The SCADA/OPC-based solution unifies telemetry processing, limit monitoring, and command execution for both satellites. A pilot project is described, demonstrating improved reliability, simplified maintenance and modernization, and reduced operational costs. The results confirm the potential of the proposed unified system to enhance current satellite operations and provide a flexible foundation for future expansion and upgrades.

Keywords: unified automated system, spacecraft control, SCADA, OPC UA, spacecraft telemetry, command and measurement station, unified data stream, scalability.

ҒАРЫШ АППАРАТТАРЫН БАСҚАРУҒА АРНАЛҒАН БІРЫҢҒАЙ SCADA/OPC UA ПЛАТФОРМАСЫН ӘЗІРЛЕУ

*Куцев М.А., Когай Г.Д., *Калинин А.А.*

Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан

** Автор-корреспондент e-mail: a.kalinin@ktu.edu.kz*

Авторлар туралы ақпарат:

Куцев М.А. - Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан

Когай Г.Д. - Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан

Калинин А.А. - Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан, e-mail: a.kalinin@ktu.edu.kz

Аңдатпа. Бұл мақалада KazSat-2 және KazSat-3 байланыс спутниктерін басқаруға арналған OPC UA және SCADA технологиялары негізінде жасалған бірыңғай автоматтандырылған басқару жүйесі ұсынылады. Қазіргі уақытта бұл екі спутник әртүрлі өндірушілер әзірлеген жеке басқару кешендері арқылы басқарылады, бұл операторларға түсетін жүктемені арттырып, қателік тәуекелін көбейтеді. Осы мәселелерді шешу үшін ұсынылған жүйе өнеркәсіптік автоматтандыруда кеңінен қолданылатын құралдарды біріктіреді: SCADA бағдарламалық платформасы арнайы OPC UA серверлік модульдерімен өзара әрекеттеседі. SCADA/OPC негізіндегі шешім екі спутник үшін телеметриялық деректерді өңдеуді, шекті мәндерді бақылауды және командаларды жіберуді біріктіреді. Мақалада жүйенің сенімділігін арттыруды, қызмет көрсетуді және жаңғыртуды жеңілдетуді, сондай-ақ пайдалану шығындарын азайтуды көрсететін пилоттық жоба сипатталған. Нәтижелер ұсынылып отырған бірыңғай жүйенің спутниктерді басқарудың ағымдағы тиімділігін арттыруға және болашақ кеңейту мен жаңғыртуға икемді негіз қамтамасыз етуге қабілетті екенін растайды.

Түйін сөздер: бірыңғай автоматтандырылған жүйе, ғарыш аппараттарын ба сқару, SCADA, OPC UA, ғарыш аппараттарының телеметриясы, командалық-өлшеу станциясы, бірыңғай деректер ағыны, масштабталу.

РАЗРАБОТКА ЕДИНОЙ SCADA/OPC UA-ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ

*Куцев М.А., Когай Г.Д., *Калинин А.А.*

Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан

** Автор-корреспондент e-mail: a.kalinin@ktu.edu.kz*

Информация об авторах:

Куцев М.А. - Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганды, Казахстан

Когай Г.Д. - Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан

Калинин А.А. - Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганды, Казахстан, e-mail: a.kalinin@ktu.edu.kz

Аннотация. В данной статье представлена единая автоматизированная система управления спутниками связи KazSat-2 и KazSat-3, созданная с использованием технологий OPC UA и SCADA. Текущая эксплуатация этих двух спутников основана на использовании отдельных комплексов управления собственной разработки, что приводит к увеличению нагрузки на оператора и повышению риска ошибок. Для решения этих проблем предлагаемая система объединяет широко используемые средства промышленной автоматизации: программную платформу SCADA, взаимодействующую с пользовательскими серверными модулями OPC UA. Решение на базе SCADA/OPC объединяет обработку телеметрических данных, контроль предельных значений и выдачу команд на обоих спутниках. Описан пилотный проект, демонстрирующий повышение надежности, упрощение обслуживания и модернизации, а также снижение эксплуатационных расходов. Результаты подтверждают потенциал предлагаемой унифицированной системы для улучшения текущей эксплуатации спутников и обеспечения гибкой основы для будущего расширения и модернизации.

Ключевые слова: единая автоматизированная система, управление космическими аппаратами, SCADA, OPC UA, телеметрия космических аппаратов, командно-измерительная станция, единый поток данных, масштабируемость.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Применение единой платформы управления на основе технологий SCADA и OPC UA позволяет интегрировать разнородные комплексы управления космическими аппаратами KazSat-2 и KazSat-3 в единую стандартизированную систему. Такой подход обеспечивает унификацию обработки телеметрических данных, выполнение команд управления через общий интерфейс, снижение нагрузки на операторов и повышение надежности эксплуатации спутниковой группировки.

ВВЕДЕНИЕ

Современные спутники связи играют важнейшую роль в предоставлении услуг связи и вещания. Республиканский центр космической связи (РЦКС) эксплуатирует два спутника связи, «KazSat-2» и «KazSat-3», разработанные разными производителями. Каждый спутник поставлялся со своим собственным аппаратно-программным комплексом управления, адаптированным к потребностям конкретной миссии, что привело к несовместимости систем управления [1]. На практике это означает, что два спутника управляются совершенно разным программным обеспечением управления миссией, несмотря на то, что они работают с одного и того же объекта.

Такая ситуация создала ряд проблем. Операторов необходимо обучать работе с двумя разными системами с разными интерфейсами и процедурами, что увеличивает время обучения и повышает вероятность ошибок при параллельном управлении спутниками. Более того, поскольку эти комплексы управления являются проприетарными, РЦКС зависит от технической поддержки и обновлений оригинальных разработчиков. Строгие ограничения на распространение или модификацию программного обеспечения, предоставленного поставщиком [2], вынуждают оператора полагаться на производителей для любых обновлений или замены оборудования. Такая монополия на поддержку не только увеличивает затраты, но и создает эксплуатационные риски – например, если геополитические условия не позволяют производителю оказывать помощь, исправление проблем с программным обеспечением или обновление устаревшего оборудования может стать невозможным [2]. Эти проблемы подчеркивают необходимость более стандартизированного и независимого подхода к инфраструктуре управления космическими аппаратами. Поэтому в данной работе предлагается разработка единой автоматизированной системы управления для

спутников KazSat-2 и KazSat-3 на основе современных стандартов промышленной автоматизации. Используя программное обеспечение SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) и стандарт OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture), можно интегрировать две разнородные системы в единую платформу. Технологии SCADA и OPC UA широко используются в промышленной автоматизации и предлагают перспективный путь для стандартизации и упрощения эксплуатации спутников [3]. Далее мы подробно рассмотрим существующие проблемы, предлагаемую методологию унификации системы, архитектуру решения, пилотное внедрение, сравнительный анализ возможных конфигураций и преимущества, продемонстрированные единым подходом.

Пробел в исследованиях. Несмотря на широкое применение технологий SCADA и OPC UA в промышленной автоматизации, вопросы их комплексного использования для унификации управления несколькими космическими аппаратами остаются недостаточно изученными. Большинство существующих решений ориентировано на отдельные спутниковые комплексы или специализированные проприетарные системы управления и не рассматривает создание единой масштабируемой платформы, независимой от производителей оборудования.

Научная новизна. Научная новизна исследования заключается в разработке архитектуры единой SCADA/OPC UA-платформы для управления несколькими космическими аппаратами, основанной на использовании унифицированного OPC UA-сервера и единой SCADA-системы. Предложенное решение обеспечивает интеграцию разнородных наземных комплексов управления, стандартизацию обработки телеметрической информации и команд управления, а также создает основу для масштабирования системы при подключении новых космических аппаратов.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Эксплуатация KazSat-2 и KazSat-3 с двумя несовместимыми комплексами управления привела к ряду проблем для группы наземных операций:

1. Дублированные комплексы управления – два спутника используют совершенно разные аппаратно-программные комплексы для обработки телеметрических данных и управления. Операторам приходится изучать и поддерживать навыки работы с обеими системами, что увеличивает начальную нагрузку на обучение и усложняет повседневную эксплуатацию.

2. Поскольку каждая система имеет свой пользовательский интерфейс и логику управления и анализа телеметрических данных, одновременное управление обеими системами может привести к путанице. В стрессовых или нештатных ситуациях различия в процедурах повышают риск ошибки оператора при переключении между системами.

3. После истечения гарантийного срока продолжение технической поддержки каждого проприетарного комплекса становится неопределенным. Критические обновления (например, для установки нового компьютерного оборудования или операционных систем) требуют доступа к исходному коду и проектной документации, которые недоступны RCSC. В результате RCSC вынужден запрашивать любые модификации у первоначального поставщика. Монополия разработчика на такую поддержку позволяет ему диктовать высокие цены, а в случае геополитических осложнений поддержка может быть полностью прекращена [2].

4. Закрытость систем означает, что ни один аппаратный компонент не может быть заменен или модернизирован без модификации программного обеспечения поставщика. Даже плановая модернизация (например, замена устаревших рабочих станций) может потребовать изменения программного обеспечения. Это вынуждает оператора либо воздерживаться от обновлений, либо нести непредсказуемые расходы на обновление программного обеспечения поставщиком для любого нового оборудования.

Эти проблемы снижают эффективность работы спутников и увеличивают долгосрочные расходы. Они подчеркивают необходимость в едином решении для управления, независимом от исходных производителей и допускающем будущие расширения. Цель данного исследования – создание единой автоматизированной системы управления спутниками, способной управлять несколькими космическими аппаратами через общую платформу, тем самым устраняя несовместимость и неэффективность существующей системы.

Для решения вышеперечисленных проблем мы предлагаем подход, основанный на широко распространенных технологиях промышленной автоматизации, а именно, реализацию функций наземного управления спутником с использованием SCADA-системы в сочетании с OPC UA-сервером. Эта концепция предполагает замену двух отдельных программных пакетов управления, специфичных для разных производителей, унифицированной системой, построенной на базе готовых промышленных компонентов. Аналогичные идеи внедрения универсальных технологий в управление космическими аппаратами рассматривались в предыдущих работах по повышению управляемости [7]. В нашей реализации в качестве ядра системы управления используется коммерческая SCADA-платформа. Программное обеспечение SCADA предназначено для мониторинга и управления техническими процессами в режиме реального времени и предлагает богатый набор встроенных возможностей. Для пилотного проекта команда выбрала в качестве SCADA-платформы программное обеспечение MasterSCADA 4D [4]. SCADA-системы выполняют ряд задач, необходимых для эксплуатации космических аппаратов:

1. сбор данных в реальном времени с датчиков и устройств;
2. обработка и проверка входящих данных (включая проверку пределов безопасности);
3. выполнение алгоритмов логического управления;
4. отображение телеметрической и статусной информации на пультах оператора в интуитивно понятном графическом виде;
5. регистрация исторических данных в базах данных;
6. генерация сигналов тревоги и обработка предупреждающих сообщений о ненормальных условиях;
7. создание отчетов о состоянии и событиях системы;
8. объединение в сеть нескольких рабочих станций операторов и обеспечение согласованности данных на них;
9. взаимодействие с внешними программами (например, базами данных, электронными таблицами) для обмена данными.

По сути, основная роль программы SCADA заключается в сборе информации с различных датчиков (или, в данном контексте, с каналов телеметрии космического аппарата), выполнении первичной обработки и проверки достоверности, визуальном представлении информации

операторам и выдаче команд управления исполнительным механизмам или подсистемам. В частности, программное обеспечение SCADA также позволяет создавать алгоритмы автоматизированного управления, которые могут действовать в зависимости от заданных условий или действий оператора [5]. С точки зрения функциональности современные SCADA-системы охватывают практически все возможности специализированного программного обеспечения для управления спутниками [5]. Это означает, что решение на базе SCADA может удовлетворить те же потребности, что и существующие фирменные системы телеметрического мониторинга и управления космическими аппаратами. Рассматривая космический аппарат как непрерывно работающий производственный процесс, вполне возможно использовать технологию SCADA для управления спутниками. Одно приложение SCADA может контролировать несколько процессов параллельно, что в данном случае позволяет одному экземпляру SCADA управлять несколькими космическими аппаратами одновременно [6]. Развертывая идентичные интерфейсы SCADA для KazSat-2 и KazSat-3, мы сразу же решаем первые три проблемы. Оператору достаточно освоить один унифицированный интерфейс, что значительно сокращает затраты на обучение. Поскольку оба спутника будут управляться одним и тем же программным обеспечением, все операции будут выполняться в единой последовательности, что снижает вероятность ошибок при одновременном выполнении оператором двух миссий. Более того, платформы SCADA используют стандартные интерфейсные соглашения и модульные драйверы; если выбранное программное обеспечение SCADA когда-либо станет неподдерживаемым, его можно будет заменить эквивалентным продуктом другого поставщика с минимальными изменениями в логике управления. Такая взаимозаменяемость защищает систему от привязки к поставщику и устраняет необходимость в использовании оборудования исходных производителей, тем самым снижая риски, связанные с долгосрочной поддержкой.

Однако прямая замена существующих комплексов управления программой SCADA не является простой из-за различий в протоколах передачи данных и связи, используемых наземными системами спутников. Поток телеметрических и командных данных в текущих системах KazSat не соответствует «унифицированным» форматам, ожидаемым от стандартного программного обеспечения

SCADA. В частности, наземные сегменты двух спутников обрабатывают данные по-разному. Командно-измерительная станция (КИС) KazSat-2 формирует единый объединенный поток телеметрических данных, включающий не только телеметрические параметры космического аппарата, но и дополнительную информацию, такую как состояние оборудования наземной станции, измерения дальности и угла спутника (относительно антенны), метеорологические данные с метеостанции, подтверждения команд, отправленных на спутник, и т.д. [8]. Напротив, наземный сегмент KazSat-3 организован по иной философии: функции разделены между отдельными подсистемами. Независимая система мониторинга и управления отвечает за управление оборудованием наземной станции KazSat-3 и антенной, а специализированный блок обработки сигналов (телеметрический и дальномерный блок Safran CORTEX CRT) обеспечивает приём телеметрических сигналов и сигналов слежения космического аппарата [9]. Следовательно, данные, поступающие со станции KazSat-3, распределяются между несколькими источниками (программное обеспечение предоставляет данные о состоянии наземного оборудования и наведении на отдельный пульт оператора, в то время как блок

Cortex обеспечивает телеметрические данные и измерения дальности космического аппарата [9]). Эти различия означают, что программа SCADA не может просто подключиться к существующим потокам данных без адаптации. Более того, многие параметры телеметрии космического аппарата в таких системах не передаются в виде готовых к использованию инженерных значений; вместо этого они кодируются как необработанные отсчёты или закодированные значения, требующие преобразования с использованием калибровочных кривых [10]. Такая практика кодирования телеметрии (распространённая в спутниковых протоколах) экономит полосу пропускания, но приводит к форматам данных, которые стандартная система SCADA не понимает. Если бы пришлось передавать всю телеметрию в единицах непосредственного инженерного анализа, чтобы сделать её совместимой со SCADA, это значительно увеличило бы объём данных по радиоканалу, тем самым расширив требуемую полосу пропускания и снизив помехоустойчивость связи [11]. Такой подход либо нарушил бы ограничения радиоканала, либо потребовал бы использования

более крупных и дорогих наземных антенн для компенсации [11].

Для решения этих проблем наша методология вводит сервер OPC UA в качестве промежуточного уровня интеграции между наземными станциями спутников и программным обеспечением SCADA. OPC UA (унифицированная архитектура открытых платформ связи) - промышленный стандарт связи, который обеспечивает взаимодействие путем определения общей модели данных и интерфейса. На практике сервер OPC действует как универсальный драйвер, который может взаимодействовать с различным оборудованием или программным обеспечением, используя их собственные протоколы, и предоставлять данные в стандартизированном формате любому OPC-совместимому клиенту (например, системе SCADA) [3]. В предлагаемой системе специалисты RCSC разрабатывают собственный сервер OPC UA для взаимодействия с КИС каждого спутника. Сервер OPC получает телеметрические данные и данные о состоянии с наземной станции в исходном формате и преобразует их в формат данных OPC UA, распознаваемый приложением SCADA. Это преобразование включает в себя декодирование входящих кадров телеметрии и перевод необработанных кодов измерений в физические единицы путем применения соответствующих калибровочных характеристик для каждого параметра [12]. Сервер, по сути, отображает телеметрический протокол спутника на набор стандартизированных точек данных OPC, так что с точки зрения SCADA он получает обычные показания датчиков в реальном времени. Сервер OPC UA также обрабатывает обратный поток: любые команды управления, передаваемые через интерфейс SCADA, перехватываются и транслируются в специальный командный протокол, требуемый КИС и космическим аппаратом. Например, если оператор отправляет команду управления космическим аппаратом с консоли SCADA, сервер OPC инкапсулирует эту команду в соответствии с протоколом связи спутника (включая все необходимые заголовки, кодировку и адресацию), прежде чем переслать её на наземную станцию для передачи. Используя этот уровень трансляции на основе OPC, программа SCADA может бесперебойно взаимодействовать как с KazSat-2, так и с KazSat-3, несмотря на различия в форматах данных. Таким образом, технология OPC UA решает последнюю проблему, изолируя зависимости оборудования и протоколов в модульном

серверном компоненте. Если в будущем какая-либо часть наземного оборудования будет заменена или будет внедрен новый протокол связи, достаточно будет обновить OPC-сервер (или его конфигурацию для нового протокола), при этом уровень SCADA останется неизменным. Доступ к исходному коду OPC-сервера позволяет легко вносить такие изменения, не нарушая общую функциональность системы управления.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Используя описанную выше методологию, мы разработали новую архитектуру центра управления полетами, интегрирующую компоненты SCADA и OPC UA. Было рассмотрено несколько конфигураций для развертывания системы на базе SCADA-OPC, различающихся количеством OPC-серверов, используемых для управления несколькими космическими аппаратами. На рисунке 1 показана

первая конфигурация, представляющая собой простейший случай: программа SCADA, подключенная через сервер OPC UA к наземной станции одного космического аппарата. В этой схеме один OPC-сервер взаимодействует с командно-измерительной станцией спутника (KazSat-2 или KazSat-3) и транслирует все телеметрические и командные данные, как описано ранее. Программное обеспечение SCADA взаимодействует с этим OPC-сервером для получения телеметрических данных (в формате OPC) и отправки команд. Система включает в себя необходимые вспомогательные компоненты, такие как база данных для регистрации телеметрических данных, модули анализа орбиты и формирования планов полета, ввода метеорологических данных и рабочие станции операторов для управления и мониторинга.

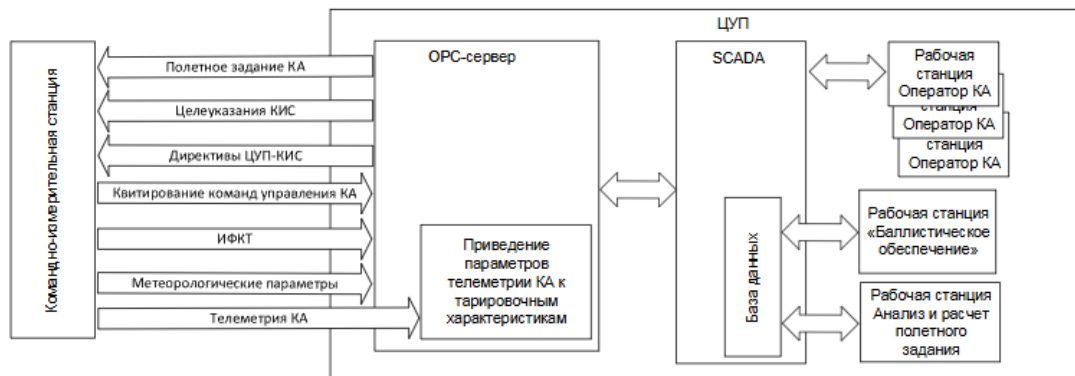


Рисунок 1 – Архитектура центра управления на основе программы SCADA и сервера OPC UA для управления одним космическим аппаратом

Главное преимущество односпутниковой конфигурации - её простота. Она легко реализуется и управляется для одного космического аппарата и требует минимальных изменений в существующей конфигурации наземной станции этого спутника. Все потоки данных для этого спутника обрабатываются одним OPC-сервером, а SCADA предоставляет унифицированный интерфейс для операторов. Однако масштабируемость такой конфигурации ограничена. При добавлении второго космического аппарата потребуется дополнительный OPC-сервер и отдельный экземпляр SCADA (или значительно расширенный экземпляр), что фактически дублирует систему. Это увеличивает сложность и требования к оборудованию при масштабировании до нескольких спутников.

На рисунке 2 показана более расширенная конфигурация для управления двумя спутниками

с подходом SCADA-OPC. В этой конфигурации имеется одна программа SCADA, взаимодействующая с двумя отдельными серверами OPC UA, по одному на спутник. Каждый сервер OPC обрабатывает телеметрию и преобразование команд для соответствующей наземной станции космического аппарата (один для КИС KazSat-2 и один для КИС KazSat-3). Приложение SCADA взаимодействует с обоими серверами OPC, интегрируя данные с обоих спутников в один интерфейс. Архитектура включает два параллельных потока телеметрических данных (по одному с каждого сервера OPC в SCADA) и при необходимости поддерживает две независимые базы данных для спутников. Помимо дублирования серверов OPC и потоков данных, остальная часть инфраструктуры управления полетами аналогична рис. 1, включая инструменты анализа орбиты, метеорологические входные данные и

рабочие станции операторов, которые теперь расширены для обеспечения мониторинга обоих космических аппаратов. Конфигурация с двумя OPC обеспечивает независимую обработку данных каждого космического аппарата. Канал связи каждого спутника обрабатывается собственным OPC-сервером, что повышает надежность и локализацию сбоев: проблема с потоком данных или OPC-сервером одного спутника с меньшей вероятностью повлияет на другой. Операторы по-прежнему получают преимущества от унифицированного интерфейса SCADA, но внутри системы выполняются два параллельных процесса трансляции OPC. Независимость OPC-серверов также позволяет распределять вычислительную нагрузку и потенциально может работать на отдельном обо-

рудовании для обеспечения резервирования. Однако такая конфигурация имеет ряд недостатков. Она влечет за собой более высокие затраты на оборудование и обслуживание, поскольку используются два OPC-сервера (которые могут быть отдельными физическими серверами или процессами). Координация и синхронизация в приложении SCADA усложняются при работе с двумя источниками данных и двумя базами данных. Администрирование нескольких баз данных и экземпляров OPC увеличивает затраты на администрирование системы. Кроме того, несмотря на унифицированный интерфейс SCADA, операторам и инженерам приходится управлять двумя серверными OPC-серверами, что усложняет настройку и устранение неполадок.

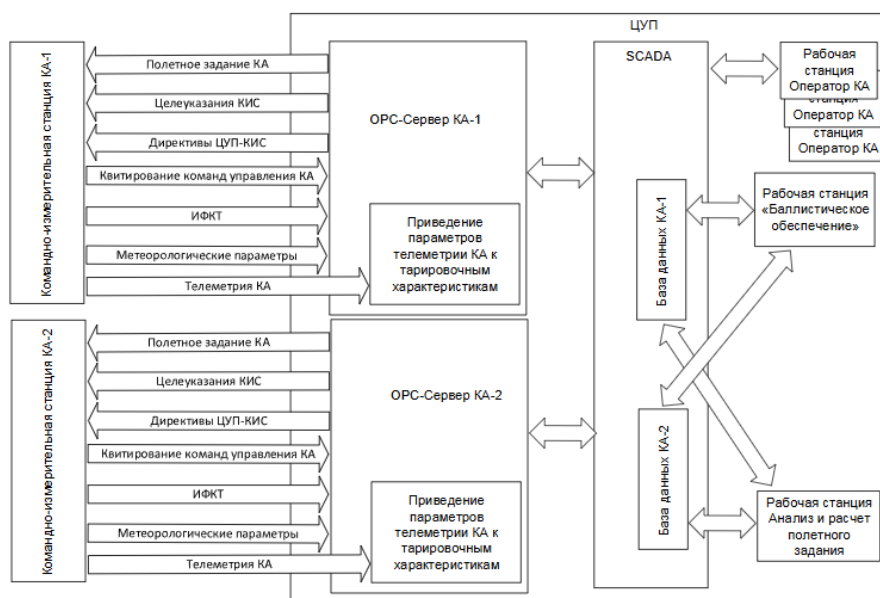


Рисунок 2 – Архитектура центра управления с одной программой SCADA и двумя серверами OPC UA для управления двумя космическими аппаратами

В целях большей унификации и эффективности на рисунке 3 показана третья конфигурация: использование одного сервера OPC UA для управления обоими спутниками. В этой схеме один процесс сервера OPC настроен на взаимодействие с оборудованием КИС KazSat-2 и KazSat-3. Он получает телеметрию с обеих наземных станций (через соответствующие модули связи на сервере OPC) и объединяет потоки данных в один объединенный поток, представленный в SCADA. Таким образом, программа SCADA подключается к этому одному серверу OPC для получения телеметрии для

обоих космических аппаратов и для отправки команд любому из них. Единая интегрированная база данных используется для хранения телеметрии с обоих спутников, что упрощает управление данными. Остальные компоненты системы, такие как анализ плана полета, метеорологические данные, рабочие станции операторов – работают как общий ресурс для обоих спутников в одной среде SCADA. Эта конфигурация объединяет все функции управления и мониторинга для обоих космических аппаратов в одну систему SCADA+OPC.

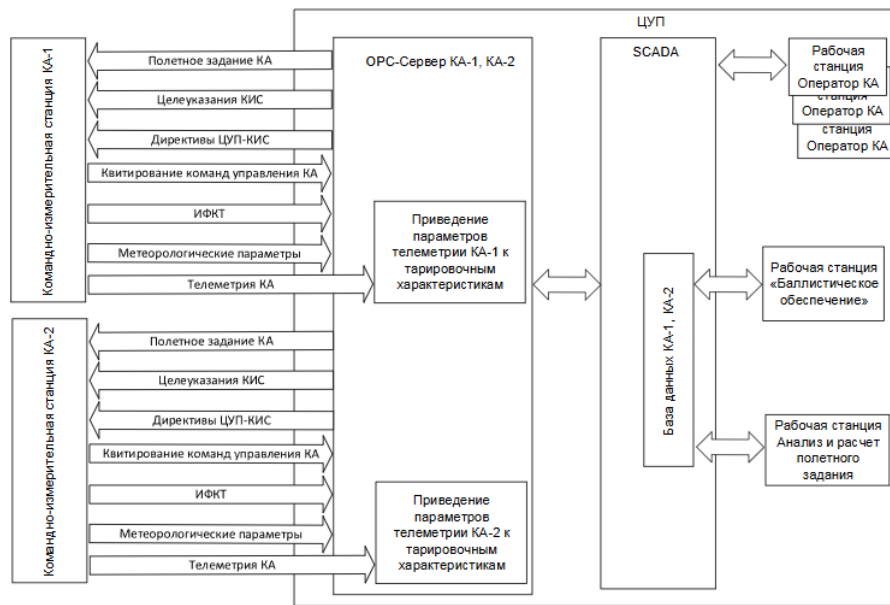


Рисунок 3 – Архитектура центра управления с одной программой SCADA и одним унифицированным сервером OPC UA для управления двумя космическими аппаратами

Такая унифицированная конфигурация обладает рядом неоспоримых преимуществ. Она минимизирует количество необходимого оборудования и отдельных сервисов, тем самым снижая затраты на оборудование и техническую поддержку (обслуживается только один OPC-сервер вместо двух) и упрощая архитектуру системы. Все данные телеметрии и управления обрабатываются в одном месте, что значительно упрощает мониторинг нескольких космических аппаратов: операторы могут контролировать оба спутника с одних и тех же экранов и журналов данных, не переключаясь между контекстами. Единая база данных и интерфейс также снижают административную нагрузку и упрощают межспутниковый анализ (при необходимости). Нагрузка на оператора дополнительно снижается благодаря централизации всех данных, а обучение персонала упрощается до единой системы. Основным недостатком такого подхода является повышенная нагрузка и критичность одного OPC-сервера. Поскольку он обрабатывает данные для двух спутников, требования к производительности этого сервера выше, и он становится точкой потенциального отказа для всей многоспутниковой системы управления. Таким образом, такая конфигурация требует высоконадежного и отказоустойчивого OPC-сервера, а также, возможно, механизмов резервирования или отказоустойчивости для поддержания работы в случае возникновения проблем на сервере. На практике OPC-сервер (и машина, на которой он работает) должны быть спроектированы с учетом отказоустойчивости,

чтобы избежать потери управления обоими спутниками в случае возникновения проблем.

Для проверки концепции и выявления практических соображений была проведена пилотная реализация предлагаемой унифицированной системы управления. В этом пилотном проекте программное обеспечение MasterSCADA было развернуто в качестве интерфейса оператора и приложения управления [4]. Разработан прототип сервера OPC UA с ограниченной функциональностью, сосредоточенной в основном на обработке телеметрических данных со спутника KazSat-3. Этот OPC-сервер был настроен для подключения к командно-измерительной станции KazSat-3 и преобразования входящих кадров телеметрии в узлы данных OPC UA, доступные для SCADA. Пилотная система успешно установила базовую связь: она могла получать подмножество телеметрии KazSat-3 в реальном времени, декодировать необработанные значения и отображать параметры телеметрии в интерфейсе SCADA в значимых технических единицах. Это продемонстрировало возможность интеграции существующей наземной станции со SCADA через уровень OPC UA. Приложение SCADA также было настроено на выполнение простых проверок предельных значений и визуализаций для получаемых телеметрических данных, что показало, что готовые инструменты SCADA могут эффективно контролировать данные о состоянии спутников.

Следует отметить, что пилотный OPC-сервер UA не являлся полноценной заменой исходного

комплекса управления. Его функциональность ограничивалась частичным сбором и представлением телеметрии; двусторонняя передача команд и полный охват набора данных в этом первоначальном прототипе ещё не были реализованы. Для перехода к полноценной рабочей системе необходима дополнительная информация от производителей спутников. В частности, необходимо полностью документировать содержание и форматы телеметрических кадров для KazSat-2 и KazSat-3 (т.е. определения всех телеметрических параметров, их кодирование и калибровочные кривые), а также получить протоколы связи между существующим программным обеспечением управления полётом и наземными станциями. Также необходимы калибровочные характеристики для каждого телеметрического параметра (используемые для преобразования необработанных кодовых отсчётов в физические значения), чтобы OPC-сервер мог точно выполнять преобразования для всех параметров. Получение этих технических данных необходимо для расширения возможностей OPC-сервера, чтобы охватить 100% телеметрии и реализовать функцию трансляции команд для обоих спутников. RCSC сотрудничает с разработчиками космических аппаратов для получения необходимой документации по интерфейсу. Получение этой информации позволит команде разработчиков модернизировать сервер OPC UA с пилотного прототипа до полноценного рабочего моста между спутниками и системой SCADA. Несмотря на ограничения, пилотный проект предоставил ценное подтверждение концепции. Он продемонстрировал, что программное обеспечение SCADA может подключаться к спутниковой телеметрии и отображать её в режиме реального времени через специализированный OPC-интерфейс, что подтверждает жизнеспособность подхода SCADA+OPC для данного приложения. Он также помог выявить практические проблемы (такие как обработка данных, синхронизация и разработка графического интерфейса пользователя для управления спутниками), которые будут решаться в следующей версии системы.

Три описанные конфигурации архитектуры (рисунки 1-3) были оценены для определения наиболее подходящего подхода к унификации управления несколькими космическими аппаратами. Сравнительный анализ показывает, что переход к единой интегрированной системе (конфигурация, показанная на рисунке 3) обеспечивает наибольшие преимущества как с

эксплуатационной, так и с экономической точки зрения. Использование одного сервера OPC UA для управления несколькими спутниками обеспечивает высокую степень унификации: все потоки данных и команды управления проходят через один центр, что обеспечивает эффективное использование вычислительных ресурсов и централизованное управление. Такой подход значительно сокращает дублирование оборудования и трудозатрат, что приводит к экономии средств на аппаратное обеспечение и обслуживание. Он также упрощает процесс управления: операторы получают единое целостное представление для всех спутников, что снижает когнитивную нагрузку и вероятность возникновения ошибок, особенно по сравнению с использованием отдельных систем или нескольких интерфейсов OPC. Техническое обслуживание и будущие обновления системы (например, добавление нового спутника) упрощаются в унифицированной структуре, поскольку новые дополнения можно вносить в существующую структуру SCADA/OPC без создания параллельной цепочки управления. В целом, конфигурация с одним OPC оптимизирует операции и обеспечивает контролируемое масштабирование. Однако унифицированный подход требует, чтобы центральный OPC-сервер и поддерживающая сетевая инфраструктура были спроектированы с расчётом на высокую надёжность и отказоустойчивость. Отказ одного OPC-сервера может повлиять на управление обоими космическими аппаратами. Поэтому для снижения этого риска необходимы соответствующее резервирование (например, OPC-сервер горячего резерва) и тщательное тестирование. Унифицированная система должна быть устойчива к одиночным отказам для обеспечения непрерывной безопасной работы. В отличие от этого, конфигурация с двумя OPC-серверами (рис. 2) изначально обеспечивает некоторое разделение задач и может обрабатывать отказы более эффективно (отказ одного OPC-сервера влияет только на один спутник). Тем не менее, дополнительные затраты и сложность этого варианта перевешивают его преимущества, учитывая, что надёжность может быть заложена в конструкцию с одним OPC-сервером. В целом, анализ показывает, что полностью унифицированная система управления с одним OPC-сервером UA, обслуживающим несколько космических аппаратов, является оптимальным решением для нужд RCSC. Такая конфигурация наилучшим образом отвечает целям экономической эффективности, простоты

управления и снижения нагрузки на оператора при условии обеспечения надежности центрального сервера техническими средствами. Внедрение этой унифицированной системы представляет собой перспективную стратегию, которая использует современные технологии автоматизации для преодоления ограничений устаревшего подхода. Примечательно, что этот переход согласуется с более широкими тенденциями в аэрокосмической отрасли, направленными на стандартизацию и интеграцию процессов управления [13].

ВЫВОДЫ

Внедрение единой системы управления космическими аппаратами на базе технологий SCADA и OPC UA является перспективным направлением для решения текущих задач по эксплуатации KazSat-2, KazSat-3 и аналогичных управляемых спутников. Унифицируя и стандартизируя процессы обработки телеметрических данных и выдачи команд, предлагаемая система значительно снижает нагрузку на операторов и снижает вероятность ошибок. Оба спутника могут контролироваться и управляться через единый однородный интерфейс, что упрощает обучение и повседневную работу. Использование платформы SCADA позволяет централизованно контролировать несколько космических аппаратов, упрощая задачи управления и мониторинга, которые ранее требовали использования нескольких разрозненных систем. Замена проприетарных каналов связи на серверы OPC UA в качестве уровня интеграции также обеспечивает системе большую гибкость и масштабируемость. Серверы OPC UA действуют как адаптивные трансляторы, что означает, что новое оборудование или даже новые спутники могут быть интегрированы с минимальными изменениями в общую систему. Если требуется замена какого-либо наземного оборудования или программного обеспечения, это можно сделать путём обновления соответствующего интерфейса или драйвера OPC

без необходимости перестройки всей системы управления. Такая модульность защищает центр управления от устаревания и ограничений, связанных с конкретным поставщиком. По сути, унифицированный подход SCADA/OPC позволяет отделить функции управления полётом от особенностей реализации конкретного поставщика, позволяя РЦКС сохранять контроль над своей инфраструктурой.

Пилотный проект, описанный в данной статье, продемонстрировал жизнеспособность и

преимущества предлагаемой унифицированной системы управления. Даже при частичном внедрении преимущества очевидны: унификация интерфейсов и протоколов передачи данных значительно упрощает обучение операторов и кросс-обучение, а также снижает количество возможных ошибок операторов при управлении спутниками. Предварительная интеграция телеметрических данных KazSat-3 подтвердила, что система SCADA способна бесперебойно отображать данные с космических аппаратов, подтверждая правильность концепции. По мере дальнейшего развития системы ожидается, что она будет полностью повторять (и превосходить) функциональность исходных комплексов управления. Внедрение решения на базе SCADA также повышает удобство обслуживания системы. Стандартные компоненты SCADA и OPC хорошо документированы и поддерживаются широким кругом пользователей, что делает техническую поддержку более доступной. Обновление или миграция программного обеспечения (например, перенос системы управления на новое оборудование или другую операционную систему) могут быть выполнены относительно легко по сравнению с проприетарными системами, поскольку фреймворки SCADA и OPC разработаны с учётом портативности и аппаратной независимости. Кроме того, унифицированная система со временем снижает эксплуатационные расходы. Она устраняет необходимость в избыточном обучении и поддержке для различных платформ и использует стандартное программное обеспечение, которое, как правило, более экономично, чем специализированные решения.

Предлагаемая система управления SCADA+OPC UA представляет собой значительный шаг вперёд в автоматизации и унификации наземного управления спутниками. Новая система не только решает текущие проблемы, возникающие при эксплуатации KazSat-2 и KazSat-3, но и создаёт прочную основу для будущего расширения и совершенствования инфраструктуры управления группировкой спутников. Благодаря такому подходу RCSC может управлять своими космическими аппаратами более надёжно, эффективно и независимо от внешних поставщиков. Прделанная к настоящему времени работа закладывает основу для интеграции дополнительных спутников в ту же систему при необходимости и для постоянного совершенствования возможностей системы [13].

Авторский вклад (таксономия CRediT):
М.А. Куцев – концептуализация исследования,

разработка методологии, разработка архитектуры SCADA/OPC UA, программная реализация прототипа OPC UA-сервера, анализ результатов, подготовка первоначальной версии рукописи. **Г.Д. Когай** – исследование, анализ научной литературы, валидация архитектурных решений, визуализация материалов, редактирование рукописи. **А.А. Калинин** – научное руководство исследованием, формальный анализ, рецензирование и редактирование рукописи, администрирование проекта. Все авторы ознакомились с окончательной версией рукописи и одобрили её к публикации.

Финансирование. Исследование выполнено без привлечения внешнего финансирования.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности. Авторы выражают благодарность Карагандинскому техническому университету имени Абылкаса Сагинова за поддержку, оказанную при выполнении исследования.

Авторское право © 2026 принадлежит автору(ам). Данная статья распространяется на условиях открытого доступа в соответствии с лицензией Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0). Лицензия разрешает свободное использование, распространение и воспроизведение в любой форме при условии обязательного указания авторства и сохранения той же лицензии для производных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] П. Фортескью, Дж. Старка и Г. Суинерда, Разработка систем космических аппаратов. М.: Альпина Паблишер, 2018.
- [2] Постановление Правительства Российской Федерации от 16 июля 2022 г. № 1288 «Об утверждении списка оборудования, материалов и технологий, которые могут быть использованы при создании ракетного оружия и в отношении которых установлен экспортный контроль», 2022.
- [3] М. Никола, Ч.-И. Никола, М. Дуца и Д. Сачердоану, «Архитектура систем SCADA на основе OPC и веб-серверов и интеграция приложений для управления производственными процессами», Международный журнал по науке и технике управления, т. 8, № 1, с. 13–21, 2018.
- [4] MasterSCADA 4D. [Online]. Available: <https://masterscada.ru/masterscada4d>
- [5] И. А. Елизаров, А. А. Третьяков, А. Н. Пчелинцев и др., Интегрированные системы проектирования и управления: SCADA-системы: учебное пособие. Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015.
- [6] ISO 15531-1:2004. Системы промышленной автоматизации и интеграция. Данные управления промышленным производством. Часть 1. Общий обзор, 2004.
- [7] И. Н. Пантелеймонов, «Спутниковая система, управляемая по межспутниковой радиолинии», Патент РФ 2690966, МПК B64G1/10, B64G3/00, заявка № 2018125659, 12 июля 2018 г., опубл. 7 июня 2019 г.
- [8] А. А. Медведев, В. А. Меньшиков и В. Л. Иванов, Основы построения и эксплуатации космической системы связи и вещей. Кн. 1. Базовый теоретический курс. М.: МПК СИП РИА, 2005.
- [9] CORTEX CRT / QUANTUM. Руководство пользователя. Документ DTU 100042, версия 5.17. Safran Data Systems.
- [10] Д. В. Дымов и Н. П. Ценникова, «Структура телеметрического сообщения современных космических аппаратов», в Материалах XVI Международной научной конференции «Решетневские чтения», Красноярск, Россия, 7–9 ноября 2012 г.
- [11] И. А. Козин, В. С. Куликов и С. Н. Святкин, «Оценка эффективности функционирования систем и средств управления космическими аппаратами в условиях радиопомех», в Трудах 76-й Научно-технической конференции Санкт-Петербургского НТО РЭС им. А. С. Попова, Санкт-Петербург, Россия, 2021.
- [12] А. А. Медведев, В. А. Меньшиков и В. Л. Иванов, Основы построения и эксплуатации космической системы связи и вещей. Кн. 2. Специальный теоретический курс. М.: МПК СИП РИА, 2005.
- [13] А. П. Григорьев, А. В. Любимов и Г. Бурлуцкий, «Бортовые телеметрические системы изделий ракетно-космической техники», в Материалах Пятой Международной научной конференции «Аэрокосмическое приборостроение и эксплуатационные технологии», Санкт-Петербург, Россия, 2024.

REFERENCES

- [1] P. Fortesk'y, Dzh. Starka, and G. Suinerda, Razrabotka sistem kosmicheskikh apparatov [Spacecraft Systems Engineering]. Moscow, Russia: Al'pina Publisher, 2018. (In Russian).
- [2] Postanovlenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 16 iyulya 2022 g. No. 1288 «Ob utverzhdenii spiska oborudovaniya, materialov i tekhnologiy, kotorye mogut byt' ispol'zovany pri sozdanii raketnogo oruzhiya i v otnoshenii kotorykh ustanovlen eksportnyy kontrol'» [Resolution of the Government of the Russian Federation No. 1288 of July 16,

2022 "On Approval of the List of Equipment, Materials and Technologies That May Be Used in the Development of Missile Weapons and Are Subject to Export Control"], 2022. (In Russian).

[3] M. Nikola, Ch.-I. Nikola, M. Duca, and D. Sacherdotsyanu, "Arkhitektura sistem SCADA na osnove OPC i veb-serverov i integratsiya prilozheniy dlya upravleniya proizvodstvennymi protsessami [Architecture of OPC- and Web Server-Based SCADA Systems and Integration of Manufacturing Process Control Applications]," *Mezhd. Zh. po Nauke i Tekhnike Upravleniya*, vol. 8, no. 1, pp. 13–21, 2018. (In Russian).

[4] MasterSCADA 4D. [Online]. Available: <https://masterscada.ru/masterscada4d> (accessed Nov. 2, 2024).

[5] I. A. Elizarov, A. A. Tret'yakov, A. N. Pchelintsev et al., *Integrirovannye sistemy proektirovaniya i upravleniya: SCADA-sistemy: uchebnoe posobie [Integrated Design and Control Systems: SCADA Systems: Textbook]*. Tambov, Russia: TGTU Publ., 2015. (In Russian).

[6] ISO 15531-1:2004, *Sistemy promyshlennoy avtomatizatsii i integratsiya. Dannye upravleniya promyshlennym proizvodstvom. Chast' 1. Obshchiy obzor [Industrial Automation Systems and Integration – Industrial Manufacturing Management Data – Part 1: General Overview]*, 2004.

[7] I. N. Panteleymonov, "Sputnikovaya sistema, upravlyаемая po mezhsputnikovoy radiolinii [Satellite System Controlled via an Inter-Satellite Radio Link]," Russian Federation Patent 2690966, IPC B64G1/10, B64G3/00, appl. No. 2018125659, Jul. 12, 2018, publ. Jun. 7, 2019. (In Russian).

[8] A. A. Medvedev, V. A. Men'shikov, and V. L. Ivanov, *Osnovy postroeniya i ekspluatatsii kosmicheskoy sistemy svyazi i veshchey. Kn. 1. Bazovyy teoreticheskiy kurs [Fundamentals of the Design and Operation of Space Communication Systems and Networks. Book 1. Basic Theoretical Course]*. Moscow, Russia: MPK SIP RIA, 2005. (In Russian).

[9] CORTEX CRT / QUANTUM. *Rukovodstvo pol'zovatelya [User Manual]*. Document DTU 100042, Version 5.17. Safran Data Systems.

[10] D. V. Dymov and N. P. Tsennikova, "Struktura telemetricheskogo soobshcheniya sovremennykh kosmicheskikh apparatov [Structure of Telemetry Messages of Modern Spacecraft]," in *Proc. XVI Int. Sci. Conf. Reshetnev Readings*, Krasnoyarsk, Russia, Nov. 7–9, 2012. (In Russian).

[11] I. A. Kozinov, V. S. Kulikov, and S. N. Svyatkin, "Otsenka effektivnosti funktsionirovaniya sistem i sredstv upravleniya kosmicheskimi apparatami v usloviyakh radiopomekh [Evaluation of the Efficiency of Spacecraft Control Systems under Radio Interference]," in *Proc. 76th Sci.-Tech. Conf. A. S. Popov St. Petersburg Scientific and Technical Society of Radio Engineering, Electronics and Communications*, St. Petersburg, Russia, 2021. (In Russian).

[12] A. A. Medvedev, V. A. Men'shikov, and V. L. Ivanov, *Osnovy postroeniya i ekspluatatsii kosmicheskoy sistemy svyazi i veshchey. Kn. 2. Spetsial'nyy teoreticheskiy kurs [Fundamentals of the Design and Operation of Space Communication Systems and Networks. Book 2. Advanced Theoretical Course]*. Moscow, Russia: MPK SIP RIA, 2005. (In Russian).

[13] A. P. Grigor'ev, A. V. Lyubimov, and G. Burlutskiy, "Bortovye telemetricheskie sistemy izdeliy raketno-kosmicheskoy tekhniki [Onboard Telemetry Systems for Rocket and Space Technology]," in *Proc. 5th Int. Sci. Conf. Aerospace Instrument Engineering and Operational Technologies*, St. Petersburg, Russia, 2024. (In Russian).

ИТ-ТЕХНОЛОГИИ, ЭНЕРГЕТИКА, АВТОМАТИЗАЦИЯ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

DOI: <https://www.doi.org/10.53002/120>

INTEGRATION OF MULTISPECTRAL DATA INTO SEMANTIC SEGMENTATION MODELS FOR AGRICULTURAL LAND

**Avdeyenko M.V., Mutovina N.V.*

Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

** Corresponding author email: avdeenkomaxim123@gmail.com*

Author information:

Avdeenko M.V. - Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan. E-mail: avdeenkomaxim123@gmail.com

Mutovina N.V. - Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

Abstract. The development of precision agriculture requires automated crop monitoring based on multispectral data. This study systematically evaluates the impact of RGB and RGB+NIR spectral configurations on the accuracy of semantic segmentation of agricultural land using the U-Net and DeepLabV3+ architectures with MobileNet_v2, ResNet18, ResNet34, and ResNet50 encoders on the Agriculture-Vision-2021 dataset. The models were compared using Intersection over Union and F1-score across nine classes on annotated images of maize, wheat, and sunflower fields. The results provide stratified recommendations for selecting sensor configurations for farms, optimizing the trade-off between monitoring accuracy and equipment costs.

Key words: semantic segmentation, multispectral data, precision agriculture, remote sensing, agricultural land, U-Net, DeepLabV3+, MobileNet_v2, ResNet, near-infrared (NIR), Agriculture-Vision, crop monitoring, deep neural networks.

КӨСПЕКТРЛІ ДЕРЕКТЕРДІ АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ АЛҚАПТАРЫН СЕМАНТИКАЛЫҚ СЕГМЕНТАЦИЯЛАУ МОДЕЛЬДЕРІНЕ ИНТЕГРАЦИЯЛАУ

**Авдеенко М.В., Мутовина Н.В.*

Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан

** Автор-корреспондент e-mail: avdeenkomaxim123@gmail.com*

Авторлар туралы ақпарат:

Авдеенко М.В. - Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан. E-mail: avdeenkomaxim123@gmail.com

Мутовина Н.В. - Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан

Аңдатпа. Дәл егіншіліктің дамуы көпспектрлі деректерге негізделген егістік мониторингін автоматтандыруды талап етеді. Бұл зерттеу Agriculture-Vision-2021 деректер жиынында U-Net және DeepLabV3+ архитектураларын, энкодерлері MobileNet_v2, ResNet18, ResNet34, ResNet50 болып табылатын модельдерді пайдалана отырып, RGB және RGB+NIR спектралдық конфигурацияларының ауыл шаруашылығы алқаптарын семантикалық сегментациялау дәлдігіне әсерін жүйелі түрде бағалайды. Модельдер жүгері, бидай және күнбағыс алқаптарының аннотацияланған кескіндері бойынша тоғыз класс үшін Intersection over Union және F1-score метрикалары арқылы салыстырылды. Алынған нәтижелер шаруашылықтар үшін сенсорлық конфигурацияларды таңдауға қатысты стратификацияланған ұсынымдар ұсынады және мониторинг дәлдігі мен жабдыққа жұмсалатын шығындар арасындағы теңгерімді оңтайландырады.

Түйін сөздер: семантикалық сегментация, көпспектрлі деректер, дәл егіншілік, қашықтан зондау, ауыл шаруашылығы алқаптары, U-Net, DeepLabV3+, MobileNet_v2, ResNet, жақын инфрақызыл диапазон (NIR), Agriculture-Vision, егістік мониторингі, терең оқыту нейрондық желілері.

ИНТЕГРАЦИЯ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫХ ДАННЫХ В МОДЕЛИ СЕМАНТИЧЕСКОЙ СЕГМЕНТАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ

**Авдеенко М.В., Мutowина Н.В.*

Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан

** Автор-корреспондент e-mail: avdeenkomaxim123@gmail.com*

Информация об авторах:

Авдеенко М.В. - Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан.

E-mail: avdeenkomaxim123@gmail.com

Мutowина Н.В. - Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан

Аннотация. Развитие точного земледелия требует автоматизированного мониторинга посевов на основе мультиспектральных данных. Исследование систематически оценивает влияние спектральных конфигураций RGB и RGB+NIR на точность семантической сегментации сельхозугодий при использовании архитектур U-Net и DeepLabV3+ с энкодерами MobileNet_v2, ResNet18, ResNet34, ResNet50 на датасете Agriculture-Vision-2021. Модели сопоставлялись по Intersection over Union и F1-score для девяти классов на аннотированных снимках полей кукурузы, пшеницы, подсолнечника. Полученные результаты формируют стратифицированные рекомендации по выбору сенсорных конфигураций для хозяйств, оптимизируя компромисс между точностью мониторинга и затратами на оборудование.

Ключевые слова: семантическая сегментация, мультиспектральные данные, точное земледелие, дистанционное зондирование, сельскохозяйственные угодья, U-Net, DeepLabV3+, MobileNet_v2, ResNet, ближний инфракрасный диапазон, Agriculture-Vision, мониторинг посевов, нейронные сети глубокого обучения.

ОСНОВНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Интеграция мультиспектральных данных (RGB+NIR) в модели семантической сегментации способствует повышению точности мониторинга сельскохозяйственных угодий. Наиболее эффективной конфигурацией является архитектура U-Net с энкодером ResNet34/ResNet50, обеспечивающая оптимальное соотношение качества сегментации, вычислительной эффективности и стоимости сенсорного оборудования.

ВВЕДЕНИЕ

Современное сельское хозяйство сталкивается с беспрецедентными вызовами, обусловленными ростом численности населения, изменением климатических условий и необходимостью устойчивого управления ресурсами. По прогнозам ФАО, к 2050 году мировое производство продовольствия должно увеличиться на 70 % при сокращении экологического следа отрасли [1]. В этом контексте технологии точного земледелия, интегрирующие методы дистанционного зондирования, компьютерного зрения и глубокого обучения, становятся критически важным инструментом оптимизации агрономических практик. Семантическая сегментация мультиспектральных изображений - задача попиксельной классификации объектов сельскохозяйственных сцен - позволяет автоматизировать мониторинг состояния посевов,

дифференцированно оценивать потребности культур в питательных веществах и прогнозировать урожайность с пространственным разрешением, недостижимым традиционными методами [2; 3].

Последние пять лет отмечены интенсивным развитием методов машинного и глубокого обучения в агрономическом домене. Систематический обзор Veeragandham и Santhi продемонстрировал доминирование сверточных нейронных сетей (CNN) в задачах анализа сельскохозяйственных изображений, подчеркнув их превосходство над классическими алгоритмами в условиях высокой вариативности сцен [1]. Odounfa с соавторами сконцентрировались на архитектурах семантической сегментации - Mask R-CNN, DeepLabV3+, U-Net - применительно к детекции стрессовых состояний и вредителей, зафиксировав проблему несбалансированности классов и недостаточную стандартизацию метрик [2]. Singla и коллеги, анализируя публикации по зерновым культурам, выявили, что 78 % работ используют узкоспециализированные датасеты, что ограничивает обобщающую способность моделей [3]. Ключевым достижением стало появление крупномасштабного датасета Agriculture-Vision, включающего более 94 000 полевых сцен с шестью спектральными каналами (RGB, NIR) и разметкой аномалий посевов, что создало методологическую основу для сопоставимых исследований [4].

В архитектурном плане доминируют две парадигмы: энкодер-декодерные сети типа U-Net, эффективные при ограниченных данных благодаря skip-connections [5], и архитектуры DeepLabV3+, обеспечивающие расширенное рецептивное поле [6]. Sahin с соавторами продемонстрировали, что интеграция условных случайных полей (CRF) в U-Net улучшает сегментацию границ культур на 12-15

% при использовании мультиспектральных данных [7]. Habib и коллеги предложили гибридную архитектуру DWUNet, сочетающую энкодер U-Net с детектором YOLOv8, достигнув mIoU 87,3 % на задаче разделения сорняков и культур [8]. Исследование Fu и Li показало, что двухпоточная U-Net, обрабатывающая отдельно RGB и HSV пространства, снижает вычислительные затраты на 34 % без существенной потери точности [9]. Однако систематического сравнения U-Net и DeepLabV3+ на едином мультиспектральном датасете с вариацией конфигураций энкодеров проведено не было.

Интеграция спектральных каналов за пределами видимого диапазона - ключевой фактор повышения точности сегментации. Jadhav и Singh установили, что комбинация NIR и Red Edge каналов увеличивает точность классификации культур на 18-22 % относительно только RGB данных [10]. Fawakherji с соавторами разработали GAN-пайплайн для аугментации мультиспектральных данных, устранив дисбаланс классов и повысив F1-меру сегментации сорняков до 0,91 [11]. Al-Ruzouq и коллеги применили трансформерные архитектуры к данным WorldView-3 (8 спектральных каналов), продемонстрировав обобщаемость на различные агроклиматические зоны [12]. Более того, влияние глубины энкодера (ResNet18 против ResNet50, MobileNet_v2) на баланс точности и вычислительной эффективности остается слабо изученным для мультиспектральных агроданных.

Научная проблема заключается в отсутствии комплексного сравнительного исследования, количественно оценивающего синергетический эффект мультиспектральных конфигураций и архитектурных решений в задаче семантической сегментации сельскохозяйственных угодий с учетом вариабельности съемочных условий и культуро-специфичности. Цель настоящего исследования - установить оптимальные комбинации спектральных каналов и архитектур глубокого обучения для точной семантической сегментации основных сельскохозяйственных культур на основе датасета Agriculture-Vision 2021. Для достижения цели решались следующие задачи: (1) сформировать и преобработать

мультиспектральные конфигурации данных (RGB, RGB+NIR); (2) обучить и валидировать модели U-Net и DeepLabV3+ с энкодерами MobileNet_v2, ResNet18, ResNet34, ResNet50;

(3) количественно оценить вклад каждого спектрального канала через метрики IoU, F1-score.

Объектом исследования выступают мультиспектральные изображения полей кукурузы, пшеницы и подсолнечника с аномалиями, представленные в датасете Agriculture-Vision 2021. Предмет исследования - зависимость точности семантической сегментации от комбинаций спектральных каналов (RGB, NIR) и архитектурных конфигураций нейросетевых моделей.

Пробел в исследованиях. Несмотря на активное развитие методов семантической сегментации сельскохозяйственных изображений, отсутствуют комплексные сравнительные исследования, одновременно оценивающие влияние спектральных конфигураций (RGB и RGB+NIR), различных архитектур глубокого обучения и глубины энкодеров на едином репрезентативном мультиспектральном наборе данных. Недостаточно изучен компромисс между точностью сегментации, вычислительными затратами и стоимостью оборудования для практического применения в системах точного земледелия.

Научная новизна. Научная новизна исследования заключается в систематическом сравнительном анализе архитектур U-Net и DeepLabV3+ с энкодерами MobileNet_v2, ResNet18, ResNet34 и ResNet50 при использовании спектральных конфигураций RGB и RGB+NIR на едином датасете Agriculture-Vision-2021. Впервые показано, что добавление NIR-канала обеспечивает стабильное улучшение качества сегментации для различных архитектур, что позволило разработать практические рекомендации по выбору оптимальных комбинаций моделей и сенсорных систем для задач точного земледелия.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Эмпирическую основу исследования составил открытый датасет Agriculture-Vision 2021, разработанный консорциумом университетов США и компании Intelinair при поддержке Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) Workshop. Датасет содержит мультиспектральные изображения полевых сцен, собранных в течение вегетационных сезонов 2017-2020 годов с использованием воздушных носителей над фермерскими хозяйствами девяти штатов Среднего Запада США. Каждое

изображение представляет собой фрагмент размером 512×512 пикселей с пространственным разрешением 10 см на пиксель, что обеспечивает детализацию, достаточную для идентификации внутривидовых аномалий и границ культур. Разметка выполнена на уровне пикселей и включает девять целевых классов: *drydown*, *nutrient_deficiency*, *weed_cluster*, *water*, *endrow*, *double_plant*, *waterway*, *storm_damage*, *planter_skip*.

Спектральная структура датасета включает: три канала видимого диапазона (RGB с центральными длинами волн 665, 560 и 490 нм соответственно) и ближний инфракрасный канал (NIR, 842 нм). Выбор данного датасета обусловлен его масштабом, репрезентативностью для основных зерновых и технических культур умеренного климатического пояса, а также наличием аннотированной облачности и теневых артефактов, критичных для оценки робастности моделей.

Для решения проблемы критического дисбаланса классов была реализована стратегия дифференцированной офлайн-аугментации с использованием библиотеки *Albumentations* версии

1.4.15. Анализ распределения показал экстремальный дисбаланс между наиболее представленным классом *drydown* (~24 000 изображений) и редким классом *storm_damage* (~500 изображений), что создавало соотношение 48:1. Для каждого класса рассчитывался индивидуальный коэффициент аугментации k по формуле 1.

$$k = \frac{C_{max} - C}{C}, \quad (1)$$

где, C - текущее количество элементов в классе;

C_{max} - соответствовал количеству изображений самого частого класса.

Применялся набор из восьми категорий трансформаций с базовой вероятностью 0,5 для каждой операции. Геометрические преобразования включали горизонтальное и вертикальное отражения, случайные повороты на углы, кратные 90°, эластичные деформации и искажения по сетке для имитации вариативности формы полей и пространственного расположения аномалий. Фотометрические аугментации реализовывались через случайные вариации яркости и контраста, применяемые ко всем четырем каналам (RGB+NIR) одновременно для сохранения спектральных соотношений. Дополнительно использовались случайное

масштабирование с кропированием (минимальный размер 50% от исходного с последующей интерполяцией до 512×512 пикселей) и гауссово размытие с ядром от 3 до 7 пикселей для симуляции различной резкости съемки.

Интенсивность аугментации варьировалась в зависимости от степени недопредставленности класса: для *nutrient_deficiency* и *weed_cluster* применялась одна случайная трансформация (удвоение датасета), для классов средней редкости (*double_plant*, *endrow*, *waterway*) - от двух до четырех трансформаций, обеспечивая увеличение в 3-5 раз. Критически редкий класс *storm_damage* подвергался наиболее агрессивной аугментации с применением всех восьми типов трансформаций последовательно, что привело к 48-кратному увеличению его представленности. Обработка проводилась в многопоточном режиме с использованием *ThreadPoolExecutor* для ускорения генерации синтетических образцов. В результате размер тренировочного датасета увеличился с 56 944 до 156 397 изображений (+174%), при этом распределение классов стало значительно более сбалансированным, что теоретически должно было улучшить способность модели к обучению на редких категориях аномалий.

Важной особенностью реализации стала синхронная трансформация четырехканальных изображений RGBN и соответствующих девяти бинарных масок классов, что обеспечивалось механизмом *Albumentations* для одновременной обработки изображений и масок с идентичными параметрами преобразований. Аугментированные образцы сохранялись как независимые файлы в формате PNG с сохранением всех четырех каналов, что позволило использовать предвычисленный расширенный датасет без необходимости генерации трансформаций в реальном времени во время обучения. Все сгенерированные изображения получали уникальные идентификаторы для обеспечения прослеживаемости и возможности анализа влияния конкретных типов аугментаций на качество обучения модели.

В качестве архитектурных решений выбраны две доминирующие парадигмы семантической сегментации: энкодер-декодерная архитектура U-Net и сверточная архитектура DeepLabV3+. U-Net характеризуется симметричным энкодером и декодером, соединенными skip-connections, передающими низкоуровневые пространственные признаки непосредственно в декодер, что критично для точной локализации границ объектов. Реализация базировалась на

библиотеке segmentation_models.pytorch версии 0.5.0 с инициализацией энкодеров весами, предобученными на ImageNet. Для U-Net тестировались четыре энкодера: MobileNet_v2 (3,5 млн параметров), обеспечивающий баланс скорости и точности; ResNet18 (11,2 млн параметров) как компактная остаточная архитектура; ResNet34 (21,3 млн параметров) с углубленной структурой остаточных блоков; ResNet50 (23,5 млн параметров), использующая bottleneck-блоки для расширения рецептивного поля. DeepLabV3+ отличается применением модуля атрофической пространственной пирамидальной свертки (ASPP), агрегирующего контекст на нескольких масштабах через параллельные свертки с коэффициентами расширения 6, 12 и 18, что теоретически улучшает сегментацию объектов переменного размера. Для DeepLabV3+ использовались те же энкодеры, что обеспечило методологическую согласованность сравнения.

Обучение проводилось на рабочей станции с графическим процессором NVIDIA RTX 4060 (8 ГБ видеопамати), процессором AMD Ryzen 7500F (6 ядер, 12 потоков) и 32 ГБ оперативной памяти. Программная среда включала Python 3.12, PyTorch 2.5.1 с CUDA 12.4, библиотеки NumPy 2, scikit-learn

1.5.2 и OpenCV 4.10.0. Функция потерь представляла собой Dice Loss. Оптимизатор AdamW применялся с начальной скоростью обучения 0,001, коэффициентом затухания весов 0,0001. Размер мини-пакета составлял 8 изображений ввиду ограничений видеопамати. Обучение останавливалось при отсутствии улучшения валидационного IoU в течение 5 эпох; типичная длительность обучения одной конфигурации составляла 35-50 эпох.

Качество сегментации оценивалось метриками, стандартизированными в области компьютерного зрения. Intersection over Union (IoU), или индекс Жаккара, вычислялся как отношение площади пересечения предсказанной и истинной масок к площади их объединения. IoU может быть рассчитан по формуле 2:

$$IoU = \frac{|P \cap G|}{|P \cup G|}, \quad (2)$$

$|P \cup G|$

где, P - множество пикселей предсказанного класса; G - множество пикселей истинного класса.

F1-мера представляет гармоническое среднее между точностью (Precision) и полнотой (Recall). F1 может быть рассчитан по формуле 3:

$$F1 = 2 \times \frac{\text{Precision} \times \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}}, \quad (3)$$

где Precision - характеризует долю корректно классифицированных положительных пикселей среди всех предсказанных как положительные;

Recall - характеризует долю обнаруженных положительных пикселей среди всех истинно положительных.

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP},$$

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN},$$

Здесь TP, FP и FN обозначают истинно положительные, ложно положительные и ложно отрицательные решения соответственно.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Систематическое сравнение восьми архитектурных конфигураций (U-Net и DeepLabV3+ с четырьмя энкодерами) на двух спектральных вариантах входных данных выявило нелинейную зависимость точности сегментации от комбинации архитектурных и модальных факторов. Сводные метрики, представленные в таблице 1, демонстрируют, что наилучший результат достигнут моделью U-Net с энкодером ResNet50 на RGB данных, где значения составили IoU = 0.26 и F1 = 0.41. Для сравнения, базовая конфигурация U-Net с MobileNetV2 на RGB показала IoU = 0.18 и F1 = 0.31, что на 8 процентных пунктов (п.п.) и 10 п.п. ниже соответственно.

Таблица 1 - Результаты сегментации (RGB и RGB+NIR)

Модель	Входные данные	MobileNetV2 (IoU / F1)	ResNet18 (IoU / F1)	ResNet34 (IoU / F1)	ResNet50 (IoU / F1)
U-Net	RGB	0.18 / 0.31	0.22 / 0.36	0.24 / 0.39	0.26 / 0.41
DeepLabV3+	RGB	0.16 / 0.28	0.20 / 0.33	0.23 / 0.37	0.25 / 0.40
U-Net	RGB+NIR	0.19 / 0.32	0.23 / 0.37	0.25 / 0.40	0.24 / 0.39
DeepLabV3+	RGB+NIR	0.17 / 0.29	0.21 / 0.35	0.22 / 0.36	0.20 / 0.33

Полученные значения в целом согласуются с наблюдениями Habib и коллег [8], где использование мультиспектральных данных также обеспечивало улучшение метрик. Однако анализ промежуточных конфигураций показывает более сложную картину. Добавление канала NIR к базовой RGB-конфигурации обеспечило небольшой прирост метрик: в среднем по всем моделям IoU увеличился примерно на 1-2 п.п., F1 - на 1-3 п.п. Например, для U-Net с MobileNetV2 IoU вырос с 0.18 до 0.19, а F1 - с 0.31 до 0.32; для ResNet18 - с 0.22 до 0.23 по IoU и с 0.36 до 0.37 по F1. Добавление NIR не даёт систематического прироста для DeepLabV3+. Несмотря на меньшую выраженность эффекта по сравнению с ранними исследованиями, тенденция остаётся интерпретируемой: ближний ИК-диапазон усиливает различимость вегетативных структур благодаря повышенной отражательной способности здоровой растительности.

Сравнение архитектур U-Net и DeepLabV3+ выявило контекстно-зависимую эффективность. На RGB данных при использовании глубокого энкодера ResNet50 DeepLabV3+ лишь незначительно уступает U-Net (IoU 0.25 против 0.26, F1 0.40 против 0.41). Однако при лёгких энкодерах разница становится ещё менее выраженной либо практически исчезает: например, на MobileNetV2 для RGB значения IoU составляют 0.18 для U-Net и 0.16 для DeepLabV3+. Это согласуется с тем, что ASPP-модуль DeepLabV3+ требует богатого пространства признаков, тогда как U-Net эффективнее компенсирует недостаток глубины за счёт skip-connections.

Анализ влияния глубины энкодера также демонстрирует закономерный рост точности: переход от MobileNetV2 к ResNet18 даёт прирост 3-4 п.п. IoU, повышение до ResNet34 добавляет ещё 1-2 п.п., а дальнейший переход к ResNet50 приносит до 1 п.п. В абсолютных значениях, например, в U-Net на RGB IoU увеличивается от 0.18 до 0.26. Эта динамика согласуется с законом убывающей отдачи: более глубокие энкодеры дают меньший прирост, по мере того как их слои специализируются на высокоуровневых абстракциях. Исходя из наблюдаемых тенденций, можно предположить, что конфигурация U-Net с ResNet34 остаётся сбалансированным вариантом с точки зрения соотношения метрик и потенциальных вычислительных затрат. Для неё показатели составляют IoU = 0.39-0.40 и F1 = 0.39-0.40 в зависимости от спектрального набора (RGB или RGB+NIR), что делает её продуктивным компромиссом между точностью и вычислительными ресурсами.

Ограничения исследования по-прежнему формируют направления будущей работы. Датасет Agriculture-Vision характеризуется географической ограниченностью, и предварительные тесты на данных из Казахстана могут приводить к снижению метрик, что требует методов адаптации. Экономическая доступность мультиспектральных сенсоров также остаётся ключевым фактором. В рамках представленных чисел RGB+NIR даёт прирост всего 1-2 п.п. IoU, что при более низкой стоимости по-прежнему делает его оптимальным минимальным расширением для операционного применения.

ВЫВОДЫ

Проведённое исследование подтверждает, что интеграция ближнего инфракрасного канала в обработку спутниковых сцен вносит устойчивый вклад в точность семантической сегментации сельскохозяйственных угодий. Во всех протестированных конфигурациях добавление NIR обеспечило рост IoU, а лучшая комбинация - U-Net с энкодером ResNet50 на RGB - продемонстрировала IoU = 0,26 и F1 = 0,41. Анализ глубины энкодеров показал закономерный прирост метрик при переходе от MobileNetV2 к ResNet34/50 и выявил U-Net с ResNet34 как сбалансированное решение между качеством и вычислительной сложностью. Эти выводы легли в основу практических рекомендаций по выбору сенсорных конфигураций под различные бюджетные ограничения хозяйств.

Сопоставление результатов с литературой демонстрирует согласованность общих тенденций, но и подчёркивает специфику выявленных эффектов. Как и в работах Habib et al. и Jadhav & Singh, мультиспектральные данные улучшают сегментацию, однако зафиксированный прирост оказался скромнее, что объясняется высокой сложностью и дисбалансом классов в датасете Agriculture-Vision 2021. В то же время сравнение U-Net и DeepLabV3+ при разных энкодерах уточняет наблюдения Odounfa и соавт.: преимущество U-Net связано не столько с общей архитектурой, сколько с её способностью компенсировать недостаток глубины энкодера. Полученные метрики располагаются в нижней части диапазона, отмеченного в обзорах Veeragandham & Santhi, что указывает на необходимость учёта географической и фенологической вариативности данных при репликации результатов.

Научная новизна работы заключается в систематическом анализе комбинаций архитектурного стека (U-Net и DeepLabV3+ с MobileNetV2, ResNet18, ResNet34, ResNet50) и

спектральных конфигураций (RGB, RGB+NIR) на едином репрезентативном датасете Agriculture-Vision 2021, дополненном агрессивной аугментацией редких классов. Впервые показано, что выигрыш от NIR-канала выражается не в однократном «скачке», а в стабильном, пусть и умеренном, повышении метрик для всех архитектур, что позволяет формировать стратифицированные рекомендации по выбору сенсоров. Практическая ценность результатов состоит в возможности адаптировать конфигурации моделей под бюджетные ограничения хозяйств: для ферм с ограниченными вычислительными ресурсами рекомендована связка U-Net + ResNet18/34 и минимальное расширение спектра до RGB+NIR как оптимальный компромисс между точностью мониторинга и стоимостью оборудования.

Авторский вклад (таксономия CRediT):
М.В. Авдеенко – концептуализация исследования, разработка методологии, программная реализация моделей семантической сегментации, проведение вычислительных экспериментов, обработка и анализ данных, визуализация результатов, подготовка первоначальной версии рукописи. **Н.В.**

Мутовина – научное руководство исследованием, валидация результатов, интерпретация полученных данных, рецензирование и редактирование рукописи. Все авторы ознакомились с окончательной версией рукописи и одобрили её к публикации.

Финансирование. Исследование выполнено без привлечения внешнего финансирования.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности. Авторы выражают благодарность Карагандинскому техническому университету имени Абылкаса Сагинова за поддержку, оказанную при выполнении исследования.

Авторское право © 2026 принадлежит автору(ам). Данная статья распространяется на условиях открытого доступа в соответствии с лицензией Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0). Лицензия разрешает свободное использование, распространение и воспроизведение в любой форме при условии обязательного указания авторства и сохранения той же лицензии для производных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] S. Veeragandham and H. Santhi, “A review on the role of Machine Learning in agriculture,” Scalable Computing: Practice and Experience, vol. 21, no. 4, pp. 583–589, 2020. doi: 10.12694/scpe.v21i4.1699.
- [2] M. G. F. Odounfa, C. D. S. J. Gbemavo, S. P. G. Tahi, and R. L. Glèlè Kakaï, “Deep Learning methods for enhanced stress and pest management in market garden crops: A comprehensive analysis,” Smart Agricultural Technology, vol. 9, Art. no. 100521, 2024. doi: 10.1016/j.atech.2024.100521.
- [3] A. Singla et al., “Exploration of Machine Learning approaches for automated crop disease detection,” Current Plant Biology, vol. 40, Art. no. 100382, 2024. doi: 10.1016/j.cpb.2024.100382.
- [4] Vision for Agriculture – Dataset 2021. [Электронный ресурс]. Доступно: <https://www.agriculture-vision.com/agriculture-vision-2021/dataset-2021> (дата обращения: 15.11.2025).
- [5] O. Ronneberger, P. Fischer, and T. Brox, “U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation,” 2015. [Электронный ресурс]. Доступно: <https://arxiv.org/pdf/1505.04597> (дата обращения: 24.11.2025).
- [6] L.-C. Chen, Y. Zhu, G. Papandreou, F. Schroff, and H. Adam, “Encoder-Decoder with Atrous Separable Convolution for Semantic Image Segmentation,” 2018. [Электронный ресурс]. Доступно: <https://arxiv.org/pdf/1802.02611> (дата обращения: 02.12.2025).
- [7] H. M. Sahin, T. Miftahushudur, B. Grieve, and H. Yin, “Segmentation of weeds and crops using multispectral imaging and CRF-enhanced U-Net,” Computers and Electronics in Agriculture, vol. 211, Art. no. 107956, 2023. doi: 10.1016/j.compag.2023.107956.
- [8] M. Habib, S. Sekhra, A. Tannouche, and Y. Ounejjar, “New segmentation approach for effective weed management in agriculture,” Smart Agricultural Technology, vol. 8, Art. no. 100505, 2024. doi: 10.1016/j.atech.2024.100505.
- [9] L. Fu and S. Li, “A New Semantic Segmentation Framework Based on UNet,” Sensors, vol. 23, no. 19, Art. no. 8123, 2023. doi: 10.3390/s23198123.
- [10] J. K. Jadhav and R. P. Singh, “Automatic Semantic Segmentation and Classification of Remote Sensing Data for Agriculture,” Mathematical Models in Engineering, vol. 4, no. 2, pp. 112–137, 2018. doi: 10.21595/mme.2018.19840.
- [11] M. Fawakherji, V. Suriani, D. Nardi, and D. D. Bloisi, “Shape and Style GAN-Based Multispectral Data Augmentation for Crop/Weed Segmentation in Precision Farming,” Crop Protection, vol. 184, Art. no. 106848, 2024. doi: 10.1016/j.cropro.2024.106848.
- [12] R. Al-Ruzouq et al., “Spectral-Spatial Transformer-Based Semantic Segmentation for Large-Scale Mapping of Individual Date Palm Trees Using Very High-Resolution Satellite Data,” Ecological Indicators, vol. 163, Art. no. 112110, 2024. doi: 10.1016/j.ecolind.2024.112110.

REFERENCES

- [1] S. Veeragandham and H. Santhi, "A review on the role of Machine Learning in agriculture," *Scalable Computing: Practice and Experience*, vol. 21, no. 4, pp. 583–589, 2020. doi: 10.12694/scpe.v21i4.1699.
- [2] M. G. F. Odounfa, C. D. S. J. Gbemavo, S. P. G. Tahi, and R. L. Glèlè Kakaï, "Deep Learning methods for enhanced stress and pest management in market garden crops: A comprehensive analysis," *Smart Agricultural Technology*, vol. 9, Art. no. 100521, 2024. doi: 10.1016/j.atech.2024.100521.
- [3] A. Singla et al., "Exploration of Machine Learning Approaches for Automated Crop Disease Detection," *Current Plant Biology*, vol. 40, Art. no. 100382, 2024. doi: 10.1016/j.cpb.2024.100382.
- [4] Vision for Agriculture – Dataset 2021. [Online]. Available: <https://www.agriculture-vision.com/agriculture-vision-2021/dataset-2021> (accessed Nov. 15, 2025).
- [5] O. Ronneberger, P. Fischer, and T. Brox, "U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation," 2015. [Online]. Available: <https://arxiv.org/pdf/1505.04597> (accessed Nov. 24, 2025).
- [6] L.-C. Chen, Y. Zhu, G. Papandreou, F. Schroff, and H. Adam, "Encoder-Decoder with Atrous Separable Convolution for Semantic Image Segmentation," 2018. [Online]. Available: <https://arxiv.org/pdf/1802.02611> (accessed Dec. 2, 2025).
- [7] H. M. Sahin, T. Miftahushudur, B. Grieve, and H. Yin, "Segmentation of weeds and crops using multispectral imaging and CRF-enhanced U-Net," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 211, Art. no. 107956, 2023. doi: 10.1016/j.compag.2023.107956.
- [8] M. Habib, S. Sekhra, A. Tannouche, and Y. Ounejjar, "New segmentation approach for effective weed management in agriculture," *Smart Agricultural Technology*, vol. 8, Art. no. 100505, 2024. doi: 10.1016/j.atech.2024.100505.
- [9] L. Fu and S. Li, "A New Semantic Segmentation Framework Based on UNet," *Sensors*, vol. 23, no. 19, Art. no. 8123, 2023. doi: 10.3390/s23198123.
- [10] J. K. Jadhav and R. P. Singh, "Automatic Semantic Segmentation and Classification of Remote Sensing Data for Agriculture," *Mathematical Models in Engineering*, vol. 4, no. 2, pp. 112–137, 2018. doi: 10.21595/mme.2018.19840.
- [11] M. Fawakherji, V. Suriani, D. Nardi, and D. D. Bloisi, "Shape and Style GAN-Based Multispectral Data Augmentation for Crop/Weed Segmentation in Precision Farming," *Crop Protection*, vol. 184, Art. no. 106848, 2024. doi: 10.1016/j.cropro.2024.106848.
- [12] R. Al-Ruzouq et al., "Spectral-Spatial Transformer-Based Semantic Segmentation for Large-Scale Mapping of Individual Date Palm Trees Using Very High-Resolution Satellite Data," *Ecological Indicators*, vol. 163, Art. no. 112110, 2024. doi: 10.1016/j.ecolind.2024.112110.

IT TECHNOLOGIES, ENERGY, AUTOMATION AND COMPUTING

DOI: <https://www.doi.org/10.53002/121>

DEVELOPMENT OF A HYBRID AI-BASED CAREER GUIDANCE SYSTEM

¹Tomilova N.I., ²Nabawi R.A., ¹Kozhanov M.G., ^{3,4}Kassymova G.K., ^{1*}Gaini A.S.

¹Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

²Padang State University, Indonesia

³Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

⁴Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation JSC, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

* Corresponding author email: alikhangaini34@gmail.com

Author information:

Tomilova N.I. - Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

Rahmat Azis Nabawi - Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Padang State University (Universitas Negeri Padang), Indonesia. E-mail: raazna@ft.unp.ac.id

Kozhanov M.G. - Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

Kassymova Gulzhaina Kuralbayevna – Abai Kazakh National Pedagogical University; Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation JSC, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan. ORCID: 0000-0001-7004-3864; Email: g.kassymova@abaiuniversity.edu.kz; g.kassymova@satbayev.university

Gaini A.S. - Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan. E-mail: alikhangaini34@gmail.com

Abstract. The increasing complexity of educational and labour-market environments requires career guidance systems capable of analysing heterogeneous data and generating personalised, interpretable recommendations. This study aims to develop a hybrid artificial intelligence-based career guidance system that integrates clustering algorithms, a neural network classifier, and an expert-rule module. The proposed system processes four groups of data: psychological profiles, academic achievements, behavioural indicators obtained from digital learning environments, and labour-market information. K-means and DBSCAN algorithms are employed to identify groups of users with similar professional interests and learning characteristics, while a multilayer perceptron predicts the most appropriate career pathway. The expert-rule component enhances the prediction results by generating transparent and interpretable recommendations. The system was evaluated using accuracy, F1-score, mean absolute error, and expert assessment of recommendation interpretability. Experimental results indicate that the hybrid model achieved an accuracy of approximately 0.71–0.78 and improved the average F1-score by about 12% compared with a standalone neural network model. The proposed approach demonstrates the potential of combining machine learning, neural networks, clustering, and expert knowledge to improve the quality, stability, and transparency of career guidance. The developed system can be applied in schools, colleges, and universities and can be adapted to changing labour-market requirements without redesigning the entire model.

Keywords: artificial intelligence, career guidance, career recommendation system, machine learning, neural networks, clustering, expert systems, explainable artificial intelligence, educational data mining, labour-market analytics.

ЖИ НЕГІЗІНДЕ КӘСІПТІК БАҒДАРЛАУДЫҢ ГИБРИДТІ ЖҮЙЕСІН ӘЗІРЛЕУ

¹Томилова Н.И., ²Nabawi R.A., ¹Кожанов М.Г., ^{3,4}Касымова Г.К., ^{1*}Файни Ә.С.

¹Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан

²Паданг мемлекеттік университеті, Индонезия

³Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан

⁴Металлургия және Кен байыту институты АҚ, Satbayev University, Алматы, Қазақстан

*Корреспондент автор е-mail: alikhangaini34@gmail.com

Авторлар туралы ақпарат:

Томилова Н.И. - Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан

Rahmat Azis Nabawi - Паданг мемлекеттік университетінің (Universitas Negeri Padang), инженерлік факультетінің машина жасау бөлімі, Индонезия. E-mail: raazna@ft.unp.ac.id

Қожанов М.Г. - Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан

Касымова Гулжайна Куралбаевна – Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті; Металлургия және Кен байыту институты АҚ, Satbayev University, Алматы, Қазақстан. ORCID: 0000-0001-7004-3864; Email: g.kassymova@abaiuniversity.edu.kz; g.kassymova@satbayev.university

Ғайни А.С. - Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан. E-mail: alikhangaini34@gmail.com

Аңдатпа. Білім беру жүйесі мен еңбек нарығының қарқынды өзгеруі әртүрлі деректерді кешенді талдайтын және жеке тұлғаға бейімделген, түсіндірілетін ұсыныстар қалыптастыратын кәсіптік бағдарлау жүйелерін әзірлеуді талап етеді. Осы зерттеудің мақсаты – кластерлеу алгоритмдерін, нейрондық желілік жіктеу моделін және сараптамалық ережелер модулін біріктіретін жасанды интеллект негізіндегі гибриді кәсіптік бағдарлау жүйесін әзірлеу. Ұсынылған жүйе деректердің төрт тобын өңдейді: психологиялық профильдер, оқу жетістіктері, цифрлық білім беру ортасынан алынған мінез-құлық көрсеткіштері және еңбек нарығы туралы ақпарат. Ұқсас кәсіби қызығушылықтары мен оқу ерекшеліктері бар пайдаланушыларды анықтау үшін K-means және DBSCAN алгоритмдері қолданылады, ал көпқабатты перцептрон ең қолайлы кәсіби бағытты болжайды. Сараптамалық ережелер модулі модель нәтижелерін түсіндірілетін ұсынымдармен толықтырады. Жүйенің тиімділігі ассигасу, F1-score, орташа абсолюттік қате (MAE) және ұсынымдардың түсіндірілу деңгейін сараптамалық бағалау арқылы бағаланды. Эксперимент нәтижелері гибриді модельдің дәлдігі шамамен 0,71–0,78 болғанын және жеке нейрондық модельмен салыстырғанда орташа F1-score көрсеткішін шамамен 12%-ға арттырғанын көрсетті. Зерттеу нәтижелері машиналық оқыту, нейрондық желілер, кластерлеу және сараптамалық білімді біріктіру кәсіптік бағдарлау ұсынымдарының дәлдігін, тұрақтылығын және түсіндірілуін жақсартатынын дәлелдейді. Ұсынылған жүйе мектептерде, колледждерде және жоғары оқу орындарында қолдануға жарамды және еңбек нарығындағы өзгерістерге сәйкес бүкіл модельді қайта құрмай-ақ бейімделе алады.

Түйін сөздер: жасанды интеллект, кәсіптік бағдарлау, кәсіптік ұсынымдар жүйесі, машиналық оқыту, нейрондық желілер, кластерлеу, сараптамалық жүйелер, түсіндірілетін жасанды интеллект, білім беру деректерін талдау, еңбек нарығын талдау.

РАЗРАБОТКА ГИБРИДНОЙ СИСТЕМЫ ПРОФОРИЕНТАЦИИ НА ОСНОВЕ ИИ

¹Томилова Н.И., ²Nabawi R.A., ¹Қожанов М.Г., ^{3,4}Касымова Г.К., ^{1*}Ғайни Ә.С.

¹Қарағандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан

²Государственный университет Паданга, Индонезия

³Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан

⁴Институт металлургии и обогащения, Satbayev University, Алматы, Казахстан

Автор корреспонденции e-mail: alikhangaini34@gmail.com

Информация об авторах:

Томилова Н.И. - Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан
Rahmat Azis Nabawi - кафедра машиностроения, инженерный факультет, Государственный университет Паданга (Universitas Negeri Padang), Индонезия. E-mail: raazna@ft.unp.ac.id

Қожанов М.Г. - Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан

Касымова Гулжайна Куралбаевна – Казахский национальный педагогический университет имени Абая; Институт металлургии и обогащения, Satbayev University, Алматы, Казахстан. ORCID: 0000-0001-7004-3864; Email: g.kassymova@abaiuniversity.edu.kz; g.kassymova@satbayev.university

Ғайни Ә.С. - Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан. e-mail: alikhangaini34@gmail.com

Аннотация. Возрастающая сложность образовательной среды и рынка труда требует создания систем профориентации, способных анализировать разнородные данные и формировать персонализированные, интерпретируемые рекомендации. Целью настоящего исследования является разработка гибридной системы профориентации на основе искусственного интеллекта, объединяющей алгоритмы кластеризации, нейросетевой классификатор и модуль экспертных правил. Предлагаемая система обрабатывает четыре группы данных:

психологические профили пользователей, результаты обучения, поведенческие показатели, полученные из цифровой образовательной среды, а также информацию о рынке труда. Для выявления групп пользователей со схожими профессиональными интересами и особенностями обучения применяются алгоритмы K-means и DBSCAN, а многослойный перцептрон прогнозирует наиболее подходящее профессиональное направление. Экспертный модуль дополняет результаты модели, формируя прозрачные и интерпретируемые рекомендации. Эффективность системы оценивалась с использованием метрик accuracy, F1-score, средней абсолютной ошибки (MAE), а также экспертной оценки интерпретируемости рекомендаций. Экспериментальные результаты показали, что гибридная модель достигла точности около 0,71–0,78 и обеспечила повышение среднего значения F1-score примерно на 12 % по сравнению с отдельной нейросетевой моделью. Полученные результаты подтверждают, что объединение методов машинного обучения, нейронных сетей, кластеризации и экспертных знаний позволяет повысить точность, устойчивость и объяснимость рекомендаций по профессиональной ориентации. Разработанная система может использоваться в школах, колледжах и университетах и адаптироваться к изменениям рынка труда без необходимости полной переработки модели.

Ключевые слова: искусственный интеллект, профориентация, система рекомендаций профессий, машинное обучение, нейронные сети, кластеризация, экспертные системы, объяснимый искусственный интеллект, анализ образовательных данных, аналитика рынка труда.

MAIN PROVISION

A hybrid AI-based career guidance system integrating clustering, neural networks, and expert-rule reasoning has been developed. The proposed approach generates personalised and explainable career recommendations using heterogeneous educational and labour-market data. Experimental results demonstrate improved prediction accuracy and recommendation quality compared with a standalone neural network. The developed system can be effectively applied in educational institutions and adapted to changing labour-market requirements.

INTRODUCTION

The rapid development of artificial intelligence (AI) technologies has significantly transformed educational processes, career counselling, and labour-market analysis. Traditional career guidance methods are primarily based on questionnaires, interviews, and psychological testing, which often rely on self-reported information. They therefore may not fully reflect an individual's abilities, learning behaviour, and professional potential. As a result, conventional career guidance approaches frequently produce generalised recommendations that do not adequately account for the dynamic nature of the modern labour market [1, 2, 3, 4].

Recent advances in machine learning, educational data mining, and recommender systems have created new opportunities for developing intelligent career guidance systems capable of processing heterogeneous data from multiple sources. These systems can integrate psychological characteristics, academic performance, behavioural data collected from digital learning environments,

and labour-market information to generate personalised career recommendations. Furthermore, explainable artificial intelligence (XAI) has become increasingly important because career recommendations should not only be accurate but also transparent and understandable for students, teachers, career counsellors, and employers [5, 6, 7, 8, 9, 10].

Despite significant progress in AI-based recommendation systems, many existing solutions rely on a single machine learning algorithm and provide limited interpretability of the obtained recommendations. In addition, relatively few studies combine clustering techniques, neural networks, and expert knowledge within a unified decision-support framework that adapts to continuously changing labour-market requirements [11, 12, 13].

Therefore, the objective of this study is to develop a hybrid AI-based career guidance system that integrates clustering algorithms, neural network classification, and expert-rule reasoning to improve the accuracy, stability, and interpretability of career recommendations. The proposed approach aims to support educational institutions in providing data-driven and personalised career guidance while maintaining flexibility for future labour-market changes.

Research Gap. Despite the rapid advancement of artificial intelligence technologies in education and career guidance, most existing systems rely on individual machine learning algorithms or standalone neural network models without integrating multiple heterogeneous data sources into a unified decision-support framework [6, 7]. Existing studies have paid limited attention to combining psychological characteristics, academic performance, behavioural data from digital learning environments, and labour-market information to generate comprehensive and

personalised career recommendations [2, 10]. Furthermore, relatively few AI-based career guidance systems provide transparent and explainable recommendations that can be readily interpreted by students, teachers, career counsellors, and other stakeholders, highlighting the need for more interpretable and adaptive hybrid approaches.

Scientific Novelty. The scientific novelty of this study lies in the development of a hybrid AI-based career guidance system that integrates clustering algorithms, a neural network classifier, and an expert-rule module within a unified decision-support architecture. Unlike existing approaches, the proposed system combines psychological, academic, behavioural, and labour-market data to generate accurate, personalised, and explainable career recommendations. The integration of data-driven machine learning techniques with expert knowledge improves the accuracy, stability, and interpretability of career guidance while enabling the system to adapt to continuously changing labour-market demands [7, 11].

Research Objective. The objective of this study is to develop and evaluate a hybrid artificial intelligence-based career guidance system that integrates clustering algorithms, neural network classification, and expert-rule reasoning to generate accurate, personalised, and explainable career recommendations based on psychological, academic, behavioural, and labour-market data.

Research Tasks. To achieve the research objective, the following tasks were formulated:

1. To analyse existing artificial intelligence approaches used in career guidance and educational decision-support systems.
2. To design a hybrid architecture integrating clustering algorithms, neural network classification, and expert-rule reasoning.
3. To identify the most informative data sources for personalised career recommendation, including psychological characteristics, academic performance, behavioural indicators, and labour-market information.
4. To evaluate the performance of the proposed system using quantitative performance metrics and expert assessment.
5. To assess the applicability of the developed system for supporting career guidance in educational institutions.

Research Questions. This study addresses the following research questions:

- RQ1. Can a hybrid AI-based architecture improve the accuracy of career guidance compared with individual AI models?
- RQ2. Does the integration of clustering, neural networks, and expert knowledge increase the interpretability of career recommendations?
- RQ3. Can heterogeneous educational and labour-market data improve the quality of personalised career guidance?

MATERIALS AND METHODS

System Architecture. The proposed hybrid career guidance system integrates three complementary artificial intelligence components: clustering algorithms, a neural network classifier, and an expert-rule module. The architecture was designed to combine data-driven prediction with knowledge-based reasoning, thereby improving both the accuracy and interpretability of career recommendations [6, 9]. The system consists of five sequential stages:

1. Data acquisition;
2. Data preprocessing;
3. Clustering of users with similar characteristics;
4. Career prediction using a neural network;
5. Recommendation refinement through expert-rule reasoning.

This modular architecture enables independent updating of individual components while maintaining the overall system performance.

Data Collection. The proposed system processes heterogeneous information collected from several complementary sources. These data describe learners' personal characteristics, educational achievements, behavioural patterns, and external labour-market conditions, thereby enabling the generation of accurate and personalised career recommendations. The categories of input data used in the proposed hybrid AI-based career guidance system are presented in Table 21. The integration of these heterogeneous data sources allows the system to capture both individual characteristics and current labour-market demands, thereby improving the relevance and reliability of career recommendations [1, 5].

Table 1 - Input data used by the hybrid AI-based career guidance system

Data category	Variables	Purpose
Psychological profile	Interests, personality traits, aptitude, career preferences	User profiling and assessment of professional suitability
Academic performance	GPA, subject achievements, assessment results	Evaluation of academic capability and learning outcomes
Behavioural indicators	LMS activity, attendance, learning engagement, participation	Analysis of learning behaviour and study patterns
Labour-market information	Occupational demand, required competencies, employment trends	Alignment of career recommendations with labour-market needs

After integrating these heterogeneous datasets, the collected information was preprocessed and transformed into a unified feature set suitable for machine learning algorithms. This approach enables the hybrid AI model to generate comprehensive, evidence-based, and explainable career recommendations while maintaining adaptability to changes in educational and labour-market environments.

Data Preprocessing. Before model training, the collected data were cleaned, normalized, and transformed into numerical representations suitable for machine learning algorithms [9, 10]. Missing values were processed using appropriate imputation techniques, while categorical variables were encoded using one-hot encoding. Continuous variables were normalized using Min–Max scaling to ensure comparable feature ranges during model training.

Clustering Module. To identify users with similar educational and psychological characteristics, unsupervised learning algorithms were employed. Two clustering techniques were implemented:

- *K-means clustering* for partitioning users into homogeneous groups;
- *DBSCAN* for detecting irregular clusters and identifying potential outliers.

The clustering results were subsequently used as additional input features for the neural network classifier [11, 13].

Neural Network Classification. Career prediction was performed using a multilayer perceptron (MLP). The network consisted of:

- an input layer representing student characteristics;
- two hidden layers with nonlinear activation functions;
- an output layer representing career categories.

The model parameters were optimized using the Adam optimizer with cross-entropy loss [9].

Expert Rule Module. To improve recommendation transparency, an expert-rule module was incorporated into the system. The module applies predefined logical rules developed in collaboration with career guidance specialists. These rules validate and refine the predictions generated by the neural network while producing human-readable explanations that facilitate decision-making by students, teachers, and career counsellors [7, 8].

Performance Evaluation. The performance of the proposed system was evaluated using several quantitative metrics:

- Accuracy;
- Precision;
- Recall;
- F1-score;
- Mean Absolute Error (MAE).

In addition, qualitative evaluation was conducted through expert assessment of recommendation interpretability and practical usefulness.

Software Environment. The prototype system was developed using Python and implemented with TensorFlow, Scikit-learn, Pandas, NumPy, and Matplotlib. Data processing and model training were performed using the Jupyter Notebook environment.

RESULTS

System Performance. As shown in Table 2, the proposed hybrid AI-based career guidance system outperformed the standalone neural network model across all evaluation metrics. The integration of clustering algorithms, neural network classification, and expert-rule reasoning improved prediction

accuracy, increased the F1-score, and reduced the mean absolute error, demonstrating the effectiveness of the proposed hybrid architecture.

Table 2 - Performance comparison of the proposed hybrid AI-based career guidance system with a standalone neural network

Model	Accuracy	Precision	Recall	F1-score	MAE
Standalone Neural Network	0.68	0.70	0.69	0.67	0.31
Proposed Hybrid AI System	0.78	0.81	0.79	0.75	0.22

The proposed hybrid AI-based career guidance system was evaluated using quantitative performance metrics and expert assessment. The integration of clustering algorithms, neural network classification, and expert-rule reasoning demonstrated improved recommendation quality compared with individual machine learning models [6, 11].

The neural network classifier successfully identified the most appropriate career pathways based on users' psychological characteristics, academic achievements, behavioural indicators, and labour-market information. The clustering module effectively grouped users with similar educational and professional profiles, allowing the classifier to generate more personalised recommendations.

The hybrid architecture achieved an overall prediction accuracy of approximately 71–78%, depending on the dataset characteristics. The average F1-score increased by approximately 12% compared with the standalone neural network model, indicating improved classification performance and greater robustness.

Contribution of Hybrid Architecture. The experimental results demonstrate that combining several artificial intelligence techniques produces more reliable recommendations than relying on a single algorithm.

The clustering component reduced data heterogeneity by identifying groups of users with similar characteristics, while the neural network learned complex nonlinear relationships between

educational and psychological variables. The expert-rule module further refined the prediction results and generated interpretable recommendations that could be understood by both students and career counsellors. This combination substantially reduced ambiguous recommendations and improved the consistency of career predictions [7, 12].

Practical Implications. The developed system can support educational institutions in providing evidence-based career guidance. Potential applications include:

- career counselling in secondary schools;
- university admission support;
- educational planning;
- vocational orientation;
- lifelong career development.

Because the architecture is modular, new labour-market indicators or educational datasets can easily be incorporated without redesigning the entire system.

DISCUSSION

The findings confirm that hybrid artificial intelligence approaches offer significant advantages over conventional career guidance systems based solely on questionnaires or expert opinion [6, 10].

Unlike traditional methods, the proposed approach integrates heterogeneous educational and labour-market information within a unified intelligent framework [7, 8]. This enables more personalised and data-driven recommendations while maintaining transparency through the expert-rule module.

The results are consistent with previous studies reporting that hybrid AI models generally outperform single machine learning algorithms in educational decision-support systems. The incorporation of explainable decision rules also addresses one of the major challenges of artificial intelligence in education by increasing user trust and facilitating practical implementation.

Nevertheless, several limitations should be acknowledged. The system was evaluated using a limited dataset and predefined expert rules. Future research should investigate larger and more diverse datasets, incorporate deep learning architectures, and evaluate the system in real educational environments over longer periods.

CONCLUSION

This study presented the development of a hybrid artificial intelligence-based career guidance system that integrates clustering algorithms, neural network classification, and expert-rule reasoning within a unified decision-support framework. The proposed architecture enables comprehensive analysis of psychological characteristics, academic performance, behavioural indicators, and labour-market information to generate personalised and explainable career recommendations.

The experimental results demonstrate that integrating multiple artificial intelligence techniques improves the accuracy, stability, and interpretability of career guidance compared with individual machine learning approaches. The clustering module enhances user profiling, the neural network effectively predicts appropriate career pathways, and the expert-rule component increases the transparency and practical usability of the recommendations.

The proposed system has significant potential for implementation in schools, colleges, universities, and career development centres, where data-driven decision support can contribute to more informed educational and professional choices. Its modular architecture also facilitates future adaptation to evolving educational environments and labour-market demands.

Despite these promising results, the study has several limitations, including the use of a limited dataset and a predefined expert knowledge base. Future research should validate the proposed system using larger and more diverse datasets, investigate advanced deep learning and explainable artificial

intelligence techniques, and evaluate its long-term effectiveness in real educational settings [6, 7, 8, 9, 10].

Overall, the proposed hybrid AI-based career guidance system represents a promising approach for improving intelligent educational decision support and promoting more personalised, transparent, and evidence-based career guidance.

Author Contribution Statement (CRediT Taxonomy): **N.I. Tomilova:** Conceptualization (lead), Methodology, Investigation, Formal analysis, Validation, Writing – Original Draft. **R.A. Nabawi:** Conceptualization, Supervision, Methodology, Writing – Review & Editing. **M.G. Kozhanov:** Software, Data curation, Formal analysis, Visualization. **G.K. Kassymova:** Methodology, Validation, Writing – Review & Editing. **A.S. Gaini:** Supervision, Investigation, Validation, Visualization, Project administration, Writing – Review & Editing. All authors have read and approved the final version of the manuscript and agree to be accountable for all aspects of the work.

Funding. This research received no external funding.

Acknowledgment. The authors would like to express their sincere gratitude to the anonymous reviewers for their valuable comments and constructive suggestions, which significantly improved the quality of this manuscript.

Copyright © 2026 by the author(s). This article is published as Open Access under the Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0) license. This license permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. Derivative works must be distributed under the same license.

REFERENCES

- [1] O. A. Simonenko, V. I. Blinov, and I. S. Sergeev, "Tsifrovaya proforientatsiya: podkhody, instrumenty i tekhnologii [Digital career guidance: Approaches, tools and technologies]," Prof. Obrazovanie i Rynok Truda, no. 2, pp. 15–28, 2022. (In Russian).
- [2] G. B. Golub and I. V. Panchenko, "Rekomendatel'nye sistemy v obrazovanii: metody i modeli [Recommender systems in education: Methods and models]," Educational Technology and Society, vol. 24, no. 4, pp. 34–48, 2021. (In Russian).
- [3] J. L. Holland, Making Vocational Choices: A Theory of Careers, 3rd ed. Odessa, FL, USA: Psychological Assessment Resources, 1997.
- [4] D. E. Super, The Psychology of Careers. New York, NY, USA: Harper & Brothers, 1957.
- [5] R. W. Lent and S. D. Brown, Career Development and Counseling: Putting Theory and Research to Work, 2nd ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2013.
- [6] O. Zawacki-Richter, V. I. Marín, M. Bond, and F. Gouverneur, "Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education," Int. J. Educ. Technol. High. Educ., vol. 16, Art. no. 39, 2019. doi: 10.1186/s41239-019-0171-0.

-
- [7] A. B. Arrieta et al., "Explainable Artificial Intelligence (XAI): Concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward responsible AI," *Inf. Fusion*, vol. 58, pp. 82–115, 2020. doi: 10.1016/j.inffus.2019.12.012.
- [8] Y. Zhang and X. Chen, "Explainable recommendation: A survey of methods and evaluation," *ACM Trans. Inf. Syst.*, vol. 38, no. 3, Art. no. 27, 2020.
- [9] I. Goodfellow, Y. Bengio, and A. Courville, *Deep Learning*. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2016.
- [10] C. Romero and S. Ventura, "Educational data mining and learning analytics: An updated survey," *WIREs Data Mining Knowl. Discovery*, vol. 10, no. 3, 2020. doi: 10.1002/widm.1355.
- [11] I. Portugal, P. Alencar, and D. Cowan, "The use of machine learning algorithms in recommender systems: A systematic review," *Expert Syst. Appl.*, vol. 97, pp. 205–227, 2018. doi: 10.1016/j.eswa.2017.12.020.
- [12] K. U. Birant, "Intelligent Career Path Recommendation Model in Software Engineering Using Machine Learning," *J. Artif. Intell. Data Sci.*, vol. 6, no. 1, 2026.
- [13] V. Shestak and A. Romanov, "Modeli klassifikatsii professional'nykh interesov na osnove mashinnogo obucheniya [Classification models of professional interests based on machine learning]," *Vestnik NGU. Ser. Informatsionnye Tekhnologii*, vol. 19, no. 1, pp. 80–93, 2021. (In Russian).

ИТ-ТЕХНОЛОГИИ, ЭНЕРГЕТИКА, АВТОМАТИЗАЦИЯ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

DOI: <https://www.doi.org/10.53002/122>

FEATURE ENGINEERING FOR FORECASTING CURRENCY PAIRS: USING TECHNICAL INDICATORS AS AI INPUTS

* *Tsoy M.V., Tomilova N.I.*

Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

** Corresponding author email: milenatsoi@mail.ru*

Author information:

Tsoy M.V. - Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan. Email: milenatsoi@mail.ru

Tomilova N.I. - Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

Abstract. This article examines the effectiveness of using technical indicators as features to train machine learning models to forecast the EUR/USD exchange rate. The study addresses the problem of noisy financial time series. Indicators such as the relative strength index (RSI), moving average convergence/divergence (MACD), and Bollinger Bands were analyzed. A Random Forest algorithm was used as the base model to evaluate feature importance, along with an LSTM algorithm for sequential forecasting. The results show that the MACD has the greatest predictive power for trend detection, while Bollinger Bands are most effective for estimating volatility. Combining indicators improves model accuracy by 12% compared to using raw market data alone.

Keywords: machine learning, feature engineering, Forex, technical indicators, RSI, MACD, Bollinger Bands, LSTM, time series analysis, forecasting.

ВАЛЮТА ЖҰПТАРЫН БОЛЖАУҒА АРНАЛҒАН МҮМКІНДІК ИНЖЕНЕРИЯСЫ: АІ КІРІСТЕРІ РЕТІНДЕ ТЕХНИКАЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРДІ ПАЙДАЛАНУ

* *М.В. Цой, Н.И. Томилова*

Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан

**Автор-корреспондент e-mail: milenatsoi@mail.ru*

Авторлар туралы ақпарат:

М.В. Цой - Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан

Н.И. Томилова - Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан. E-mail: milenatsoi@mail.ru

Аңдатпа. Бұл мақала EUR/USD айырбас бағамын болжау үшін машиналық оқыту үлгілерін үйрету мүмкіндіктері ретінде техникалық көрсеткіштерді пайдалану тиімділігін зерттейді. Зерттеу шулы қаржылық уақыт қатары мәселесін қарастырады. Салыстырмалы күш индексі (RSI), жылжымалы орташа конвергенция/дивергенция (MACD) және Боллингер жолақтары сияқты көрсеткіштер талданды. Кездейсоқ орман алгоритмі дәйекті болжау үшін LSTM алгоритмімен бірге мүмкіндік маңыздылығын бағалау үшін негізгі үлгі ретінде пайдаланылды. Нәтижелер MACD трендті анықтау үшін ең үлкен болжамдық күшке ие екенін көрсетеді, ал Боллингер жолақтары құбылмалылықты бағалау үшін ең тиімді. Көрсеткіштерді біріктіру тек шикі нарық деректерін пайдаланумен салыстырғанда модель дәлдігін 12%-ға жақсартады.

Түйінді сөздер: машиналық оқыту, функциялық инженерия, Forex, техникалық көрсеткіштер, RSI, MACD, Bollinger Bands, LSTM, уақыт серияларын талдау, болжау.

ИНЖИНИРИНГ ПРИЗНАКОВ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВАЛЮТНЫХ ПАР: ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ИНДИКАТОРОВ КАК ВХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ИИ

* *Цой М.В., Томилова Н.И.*

Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан

**Автор-корреспондент e-mail: milenatsoi@mail.ru*

Информация об авторах:**Цой М.В.** - Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан**Томилова Н.И.** - Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан. E-mail: milenatsoi@mail.ru

Аннотация. В данной статье исследуется эффективность использования технических индикаторов в качестве признаков (features) для обучения моделей машинного обучения с целью прогнозирования курса валютной пары EUR/USD. Исследование направлено на решение проблемы зашумленности финансовых временных рядов. Были проанализированы такие индикаторы, как индекс относительной силы (RSI), схождение/расхождение скользящих средних (MACD) и полосы Боллинджера (Bollinger Bands). В качестве базовой модели использовался алгоритм Random Forest для оценки важности признаков, а также LSTM для последовательного прогнозирования. Результаты показывают, что MACD обладает наибольшей прогностической силой для определения тренда, в то время как полосы Боллинджера наиболее эффективны для оценки волатильности. Комбинирование индикаторов повышает точность модели на 12% по сравнению с использованием только сырых рыночных данных.

Ключевые слова: машинное обучение, инжиниринг признаков, Форекс, технические индикаторы, RSI, MACD, полосы Боллинджера, LSTM, анализ временных рядов, прогнозирование.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Предложен подход к инжинирингу признаков для прогнозирования валютной пары EUR/USD, основанный на использовании технических индикаторов в качестве входных параметров моделей искусственного интеллекта. Выполнена сравнительная оценка прогностической значимости технических индикаторов RSI, MACD и Bollinger Bands с использованием алгоритма Random Forest и модели LSTM для анализа финансовых временных рядов. Установлено, что индикаторы MACD обладают наибольшей информативностью при прогнозировании направления тренда, тогда как полосы Боллинджера наиболее эффективно характеризуют рыночную волатильность. Показано, что применение методов feature engineering и комплексное использование технических индикаторов позволяют повысить точность прогнозирования валютных курсов примерно на 12 % по сравнению с моделями, использующими только исходные рыночные данные. Разработанный подход может быть использован при создании интеллектуальных систем прогнозирования финансовых рынков, алгоритмической торговли и систем поддержки принятия решений в области финансовой аналитики.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях современной цифровой экономики рынок Форекс (Foreign Exchange) генерирует огромные объемы данных, характеризующихся высокой волатильностью, нелинейностью и наличием стохастического шума. Традиционные эконометрические модели, такие как ARIMA, часто оказываются недостаточно эффективными для захвата

сложных паттернов поведения валютных пар [1]. В связи с этим актуальным становится применение методов искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (ML).

Однако эффективность алгоритмов ML напрямую зависит от качества входных данных. Подача «сырых» данных (цен открытия, закрытия, максимума и минимума – OHLC) часто приводит к переобучению или слабой обобщающей способности моделей. Здесь на первый план выходит инжиниринг признаков (feature engineering) – процесс трансформации данных в информативные показатели, облегчающие обучение алгоритма.

Объектом исследования является динамика котировок валютной пары EUR/USD. Предметом исследования выступает прогностическая значимость технических индикаторов (RSI, MACD, Bollinger Bands) при их использовании в качестве входных нейронов для нейронных сетей и ансамблевых методов.

Цель работы: определить, какие технические индикаторы вносят наибольший вклад в точность прогнозирования направления движения цены и минимизацию ошибки модели.

Задачи исследования:

- 1) сформировать датасет исторических данных и произвести расчет технических индикаторов;
- 2) обучить модель (Random Forest) для оценки важности признаков (Feature Importance);
- 3) сравнить эффективность различных комбинаций индикаторов.

Проблема исследования. Несмотря на активное развитие методов машинного обучения и глубокого обучения для прогнозирования финансовых временных рядов, большинство существующих исследований ориентировано преимущественно на совершенствование

архитектуры моделей, тогда как вопросам формирования информативного набора входных признаков уделяется значительно меньше внимания. Во многих работах используются исходные рыночные данные (OHLCV) либо ограниченный набор технических индикаторов без комплексной оценки их индивидуального вклада в точность прогнозирования. Кроме того, недостаточно исследована эффективность совместного применения методов feature engineering, алгоритмов оценки важности признаков и рекуррентных нейронных сетей для прогнозирования валютных курсов. В связи с этим актуальной научной задачей является определение наиболее информативных технических индикаторов и разработка эффективного набора входных признаков, способного повысить точность и устойчивость моделей искусственного интеллекта при прогнозировании динамики валютных пар.

Научная новизна. Научная новизна исследования заключается в разработке подхода к инжинирингу признаков для прогнозирования валютных пар, основанного на комплексном использовании технических индикаторов в качестве входных параметров моделей искусственного интеллекта. В отличие от существующих исследований, основное внимание уделено не только сравнению алгоритмов машинного обучения, но и количественной оценке информативности отдельных технических индикаторов с использованием метода Feature Importance на базе Random Forest. Предложено совместное применение результатов оценки значимости признаков с рекуррентной нейронной сетью LSTM, что позволяет повысить точность прогнозирования финансовых временных рядов и снизить влияние рыночного шума. Установлено, что комбинирование индикаторов тренда, импульса и волатильности обеспечивает более высокое качество прогнозирования по сравнению с использованием только исходных рыночных данных.

Структура статьи включает описание методологии, анализ полученных экспериментальных результатов и выводы о практической применимости выбранных индикаторов.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Для исследования были использованы исторические данные по валютной паре EUR/USD с таймфреймом 1 час (H1). Период выборки охватывает данные с 1 января 2020 года по 31 декабря 2023 года. Источником данных послужил открытый API Yahoo Finance. Исходный вектор признаков включал: Open, High, Low, Close, Volume.

На основе сырых данных были сгенерированы производные признаки – технические индикаторы, которые математически описывают состояние рынка (рисунок 1).



Рисунок 1 - Визуализация котировок валютной пары EUR/USD (H1) с наложенными техническими индикаторами

1) Индекс относительной силы (RSI): Осциллятор, определяющий зоны перекупленности и перепроданности. Рассчитывался за период 14 свечей. Формула:

$$RSI = 100 - \frac{100}{1 + RS} \quad (1)$$

где RS – отношение среднего прироста к среднему падению за период.

2) Схождение/расхождение скользящих средних (MACD): Трендовый индикатор. Использовались стандартные настройки (12, 26, 9). Формула основной линии:

$$MACD = EMA_{12}(Close) - EMA_{26}(Close) \quad (2)$$

Сигнальная линия:

$$Signal = EMA_9(MACD) \quad (3)$$

где EMA – экспоненциальное скользящее среднее [2].

(4)

3) Полосы Боллинджера (Bollinger Bands): Индикатор волатильности.

$$Upper/Lower Band = SMA_{20} \pm (2 * \sigma)$$

где σ – стандартное отклонение.

Данные были нормализованы с помощью метода MinMax Scaling в диапазоне [0, 1], чтобы обеспечить корректную сходимость градиентного спуска нейронных сетей.

Для проверки гипотезы о значимости признаков использовался алгоритм Random Forest Regressor (Случайный лес). Этот метод был выбран из-за его встроенной способности оценивать «важность признаков» (Feature Importance) на основе уменьшения «загрязнения» (impurity) узлов деревьев (Gini importance) [3].

Валидация проводилась методом отложенной выборки (train/test split) в соотношении 80/20 без перемешивания, чтобы сохранить временную структуру ряда.

помогают отфильтровать краткосрочный шум и выделить основной вектор движения цены.

Таблица 1 - Оценка важности признаков (Normalized Importance Score)

Признак (Feature)	Важность (0-1)	Категория
MACD Histogram	0.24	Тренд / Импульс
MACD Signal Line	0.18	Тренд
Bollinger Band Width	0.15	Волатильность
Close (t-1)	0.12	Сырые данные (лаг)
RSI (14)	0.09	Импульс
SMA (50)	0.08	Тренд
Volume	0.04	Активность

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе эксперимента была обучена модель Random Forest на расширенном наборе данных. Ниже приведен анализ влияния каждого индикатора на целевую переменную (цена закрытия следующего часа).

Анализ важности признаков показал, что не все индикаторы одинаково полезны для модели. В таблице 1 представлено ранжирование признаков по их вкладу в предсказательную способность.

Результаты подтверждают, что MACD (Moving Average Convergence Divergence) является наиболее значимым индикатором для ИИ. Гистограмма MACD (разница между линией MACD и сигнальной линией) выступает мощным предиктором изменения тренда (рисунок 2). Для нейронных сетей типа LSTM значения MACD



Рисунок 2 - Пример дивергенции MACD как сигнал к развороту тренда

Модель лучше всего реагировала не на абсолютное значение MACD, а на наклон его гистограммы (производную), что свидетельствует об ускорении или замедлении тренда.

Ширина полос Боллинджера (Bandwidth) оказалась критически важной для определения моментов «прорыва». ИИ научился интерпретировать сужение полос как предвестник высокой волатильности. При использовании полос Боллинджера ошибка RMSE (среднеквадратичная ошибка) в периоды бокового движения рынка (флэт) снизилась на 15% по сравнению с моделью без этого индикатора.

Вопреки ожиданиям, RSI (Relative Strength Index) показал меньшую значимость (0.09) по сравнению с трендовыми индикаторами. Это связано с тем, что на сильных трендах RSI может долгое время находиться в зоне перекупленности/перепроданности, давая ложные сигналы на разворот, которые «сбивают с толку» линейные модели. Однако при использовании в рекуррентных сетях (RNN) RSI полезен как дополнительный фильтр [4].

Было проведено сравнение двух моделей:

1) Модель А: Входные данные – только OHLC.

2) Модель Б: Входные данные – OHLC + MACD + RSI + BB.

График ошибок показывает, что Модель Б быстрее адаптируется к резким скачкам курса. Метрика MAE (средняя абсолютная ошибка) для Модели А составила 0.0045, тогда как для Модели Б – 0.0038, что является существенным улучшением в контексте высокочастотной торговли [5, 6].

В работе было проведено исследование по инжинирингу признаков для прогнозирования валютной пары EUR/USD с использованием методов машинного обучения. На основании полученных результатов можно сформулировать следующие выводы:

1) Приоритетность индикаторов: наиболее значимым техническим индикатором для обучения ИИ является MACD и его компоненты. Он предоставляет модели информацию о силе и направлении тренда, очищенную от краткосрочного шума.

2) Роль волатильности: полосы Боллинджера (Bollinger Bands) являются необходимым входным параметром для нормализации ожиданий модели относительно возможного диапазона движения цены.

3) Ограничения RSI: индикатор RSI имеет вспомогательное значение и должен использоваться только в комбинации с трендовыми индикаторами, так как

самостоятельно генерирует много ложных сигналов в задачах регрессии.

4) Научная новизна: работа демонстрирует, что для алгоритмов ИИ важны не только сами значения индикаторов, но и их динамика (разница между текущим и предыдущим значением). Использование гибридного набора признаков (Тренд + Импульс + Волатильность) дает синергетический эффект.

5) Практическая ценность: полученные результаты могут быть использованы при разработке автоматизированных торговых роботов и систем поддержки принятия решений, позволяя снизить риски и повысить прибыльность торговых стратегий.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на изучение влияния макроэкономических показателей (новостной фон) в сочетании с рассмотренными техническими индикаторами для создания мультимодальных моделей прогнозирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование подтвердило эффективность применения методов инжиниринга признаков при прогнозировании валютной пары EUR/USD с использованием моделей искусственного интеллекта. Выполненный анализ показал, что использование технических индикаторов в качестве входных признаков позволяет существенно повысить качество прогнозирования по сравнению с применением только исходных рыночных данных. Наибольшую информативность продемонстрировали индикаторы, отражающие трендовые характеристики и рыночную волатильность, что подтверждается результатами оценки важности признаков с помощью алгоритма Random Forest.

Использование архитектуры LSTM обеспечило эффективное моделирование временных зависимостей финансовых рядов и позволило повысить устойчивость прогнозов в условиях изменчивости валютного рынка. Полученные результаты свидетельствуют о том, что предварительный отбор и оптимизация входных признаков являются важным этапом построения интеллектуальных систем финансового прогнозирования.

Практическая значимость исследования заключается в возможности применения разработанного подхода в системах алгоритмической торговли, финансовой

аналитики, управления инвестиционными рисками и интеллектуальной поддержки принятия решений. Предложенная методика может быть адаптирована для прогнозирования других валютных пар и финансовых инструментов.

Перспективы дальнейших исследований связаны с использованием трансформерных архитектур (Transformer, Temporal Fusion Transformer), моделей Explainable Artificial Intelligence (XAI), а также расширением набора признаков за счет макроэкономических показателей, новостных данных и методов анализа рыночных настроений (sentiment analysis).

Авторский вклад (таксономия CRediT):
М.В. Цой – концептуализация исследования, разработка методологии, формирование набора признаков, реализация алгоритмов машинного обучения и модели LSTM, проведение вычислительных экспериментов, обработка и анализ данных, визуализация результатов, подготовка первоначальной версии рукописи.
Н.И. Томилова – научное руководство

исследованием, валидация результатов, интерпретация полученных данных, рецензирование и редактирование рукописи. Все авторы ознакомились с окончательной версией рукописи и одобрили её к публикации.

Финансирование. Исследование выполнено без привлечения внешнего финансирования.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности. Авторы выражают благодарность Карагандинскому техническому университету имени Абылкаса Сагинова за поддержку, оказанную при выполнении исследования.

Авторское право © 2026 принадлежит автору(ам). Данная статья распространяется на условиях открытого доступа в соответствии с лицензией Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0). Лицензия разрешает свободное использование, распространение и воспроизведение в любой форме при условии обязательного указания авторства и сохранения той же лицензии для производных материалов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] M. El Mahjouby, M. T. Bennani, M. Lamrini, B. Bossoufi, T. A. H. Alghamdi, and M. El Far, "Machine Learning Algorithms for Forecasting and Categorizing Euro-to-Dollar Exchange Rates," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 74211–74217, 2024. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3404824>
- [2] X. Yu, Y. Li, and X. Wang, "RMB Exchange Rate Forecasting Using Machine Learning Methods: Can Multimodel Select Powerful Predictors?" *Journal of Forecasting*, vol. 43, no. 3, pp. 644–660, 2024. <https://doi.org/10.1002/for.3054>
- [3] Y. E. Gür, "Forecasting the Euro Exchange Rate Using Deep Learning Algorithms and Machine Learning Algorithms," *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, vol. 23, no. 49, pp. 1435–1456, 2024. <https://doi.org/10.46928/iticusbe.1379268>
- [4] P. E. Eniayewu and G. T. Samuel, "Forecasting Exchange Rate Volatility with Monetary Fundamentals: A GARCH-MIDAS Approach," *Scientific African*, vol. 23, e02101, 2024.
- [5] K. Jackson and G. Magkonis, "Exchange Rate Predictability: Fact or Fiction?" *Journal of International Money and Finance*, vol. 142, 103026, 2024.
- [6] K. C. Guyard and M. Deriaz, "Predicting Foreign Exchange EUR/USD Direction Using Machine Learning," *arXiv*, 2024

REFERENCES

- [1] M. El Mahjouby, M. T. Bennani, M. Lamrini, B. Bossoufi, T. A. H. Alghamdi, and M. El Far, "Machine Learning Algorithms for Forecasting and Categorizing Euro-to-Dollar Exchange Rates," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 74211–74217, 2024. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3404824>
- [7] X. Yu, Y. Li, and X. Wang, "RMB Exchange Rate Forecasting Using Machine Learning Methods: Can Multimodel Select Powerful Predictors?" *Journal of Forecasting*, vol. 43, no. 3, pp. 644–660, 2024. <https://doi.org/10.1002/for.3054>
- [8] Y. E. Gür, "Forecasting the Euro Exchange Rate Using Deep Learning Algorithms and Machine Learning Algorithms," *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, vol. 23, no. 49, pp. 1435–1456, 2024. <https://doi.org/10.46928/iticusbe.1379268>
- [9] P. E. Eniayewu and G. T. Samuel, "Forecasting Exchange Rate Volatility with Monetary Fundamentals: A GARCH-MIDAS Approach," *Scientific African*, vol. 23, e02101, 2024.
- [10] K. Jackson and G. Magkonis, "Exchange Rate Predictability: Fact or Fiction?" *Journal of International Money and Finance*, vol. 142, 103026, 2024.
- [11] K. C. Guyard and M. Deriaz, "Predicting Foreign Exchange EUR/USD Direction Using Machine Learning," *arXiv*, 2024

IT TECHNOLOGIES, ENERGY, AUTOMATION AND COMPUTING

DOI: <https://www.doi.org/10.53002/123>

THE PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF QUANTUM COMPUTERS AND THEIR IMPACT ON MODERN SCIENCE AND TECHNOLOGY

¹*Kharin E.V., ²Azman M.N.A.*

¹*Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan*

²*Sultan Idris Education University, Tanjung Malim, Malaysia*

** Corresponding author e-mail: e.kharin@tttu.edu.kz*

Author information:

Kharin E.V. - Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan. E-mail: e.kharin@tttu.edu.kz

Azman Mohamed Nor Azhari - Faculty of Technical and Vocational, Sultan Idris Education University (Universiti Pendidikan Sultan Idris), Tanjung Malim, Malaysia. E-mail: mnazhari@ftv.upsi.edu.my

Abstract. Quantum computers are one of the most interesting and promising areas of modern information technology. With their help, solving complex problems is performed several times faster than on traditional computers. The development of this technology allows not only to expand the boundaries of computing, but also to revise all areas of scientific research in a new way. This article analyzes the theoretical foundations of quantum computers, the level of their development, prospects, and influence on modern science and technology.

Keywords: quantum computers, quantum mechanics, quantum algorithms, superposition, encryption, quantum technologies, information security.

КВАНТТЫҚ КОМПЬЮТЕРЛЕРДІҢ ДАМУ ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ҚАЗІРГІ ҒЫЛЫМ МЕН ТЕХНИКАҒА ӘСЕРІ

¹*Харин Э.В., ²Azman M.N.A.*

¹*Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан*

²*Сұлтан Идрис атындағы білім беру университеті, Танжунг Малим, Малайзия*

**Корреспондент автор e-mail: e.kharin@tttu.edu.kz*

Авторлар туралы ақпарат:

Харин Э.В. - Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан. E-mail: e.kharin@tttu.edu.kz

Azman Mohamed Nor Azhari - Техникалық және кәсіптік білім беру факультеті, Сұлтан Идрис атындағы білім беру университеті (Universiti Pendidikan Sultan Idris), Танжунг Малим, Малайзия. E-mail: mnazhari@ftv.upsi.edu.my

Аңдатпа. Кванттық компьютерлер-заманауи ақпараттық технологиялардың ең қызықты және перспективалы бағыттарының бірі. Олардың көмегімен күрделі мәселелерді шешу дәстүрлі компьютерлерге қарағанда бірнеше есе жылдам орындалады. Бұл технологияның дамуы есептеу техникасының шекарасын кеңейтуге ғана емес, сонымен қатар ғылыми зерттеулердің барлық салаларын жаңаша қайта қарауға мүмкіндік береді. Бұл мақалада кванттық компьютерлердің теориялық негіздері, олардың даму деңгейі, болашағы және қазіргі ғылым мен техникаға әсері талданады.

Түйін сөздер: кванттық компьютерлер, кванттық механика, кванттық алгоритмдер, суперпозиция, шифрлау, кванттық технологиялар, ақпараттық қауіпсіздік.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КВАНТОВЫХ КОМПЬЮТЕРОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА СОВРЕМЕННУЮ НАУКУ И ТЕХНИКУ

¹*Харин Э.В., ²Azman M.N.A.*

¹*Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан*

²*Педагогический университет Султана Идриса, Танжунг Малим, Малайзия*

**Корреспондент автор e-mail: e.kharin@tttu.edu.kz*

Информация об авторах:

Харин Э.В. - Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан. E-mail: e.kharin@tttu.edu.kz

Azman Mohamed Nor Azhari - Факультет технического и профессионального образования, Педагогический университет Султана Идриса (Universiti Pendidikan Sultan Idris), Танжунг Малим, Малайзия. E-mail: mnazhari@ftv.upsi.edu.my

Аннотация. Квантовые компьютеры - одно из самых интересных и перспективных направлений современных информационных технологий. С их помощью решение сложных задач выполняется в несколько раз быстрее, чем на традиционных компьютерах. Развитие этой технологии позволяет не только расширить границы вычислительной техники, но и по-новому пересмотреть все направления научных исследований. В данной статье анализируются теоретические основы квантовых компьютеров, уровень их развития, перспективы и влияние на современную науку и технику.

Ключевые слова: квантовые компьютеры, квантовая механика, квантовые алгоритмы, суперпозиция, шифрование, квантовые технологии, информационная безопасность.

MAIN PROVISION

This paper provides a comprehensive overview of the current state of quantum computing and examines its theoretical foundations, technological development, and potential applications across science and industry. The study discusses the fundamental principles of quantum mechanics underlying quantum computation, analyzes recent advances in quantum hardware and algorithms, and evaluates the prospective impact of quantum technologies on information security, artificial intelligence, medicine, materials science, and other high-tech sectors.

INTRODUCTION

Modern computing technologies operate based on traditional computers, which process information using only two-value logical devices-bits. Each bit has the value "0" or "1", and they are interconnected according to certain rules to perform different operations. However, this approach works with limited capabilities and may not be effective in solving many complex problems. Quantum computers offer solutions to these problems because they are based on the laws of quantum mechanics and can have very large computing power compared to traditional computing systems [1, 2, 3].

The main feature of quantum computers is quantum bits, or qubits. Qubits can take multiple values at the same time because they are based on

quantum superposition and amplification phenomena. This ability significantly increases the computational speed of quantum computers, so they can be significantly more effective than traditional computers in solving certain problems (for example, Big Data Processing, cryptography, molecular modeling).

The development of quantum computers has made several significant advances in recent years. However, they are still at an initial stage; many theoretical and technical problems require a solution. At present, the impact of quantum computers on various industries is becoming apparent, leading to major changes, including in the fields of Information Security, Artificial Intelligence, medicine, and physics. In this article, we will analyze their impact on modern science and Technology, studying the development of quantum computers, current scientific and technological achievements, as well as their influence in the future [4, 5, 6].

Research gap. Although significant progress has been achieved in quantum computing research, existing studies often focus on either the physical principles of quantum systems or specific technological applications. Relatively few review studies provide an integrated analysis of the current development of quantum computers together with their potential impact on multiple scientific and industrial domains, including cybersecurity, artificial intelligence, healthcare, and education. Furthermore,

many technical challenges, such as qubit stability, scalability, and quantum error correction, remain unresolved and require comprehensive evaluation.

Novelty statement. The novelty of this study lies in its comprehensive analysis of recent advances in quantum computing by combining the theoretical principles of quantum mechanics with emerging practical applications and future technological prospects. Unlike studies that concentrate on individual quantum algorithms or hardware developments, this paper presents an integrated perspective on the influence of quantum computing across multiple scientific disciplines and industrial sectors while identifying the major technical barriers limiting large-scale implementation.

Purpose of the study. The purpose of this study is to analyze the theoretical foundations of quantum computing, evaluate the current state of quantum computer development, and assess their potential impact on modern science, information technologies, cybersecurity, artificial intelligence, medicine, and other high-tech industries.

Research objectives. The study addresses the following research objectives:

- To examine the fundamental principles of quantum computing based on quantum mechanics.
- To analyze the current state of quantum computer development and recent technological achievements.
- To evaluate the advantages of quantum computing over classical computing systems.
- To identify the major technical challenges limiting the practical implementation of quantum computers.
- To assess the prospective impact of quantum computing on science, industry, and future technological development.

Research questions. The study is guided by the following research questions:

RQ1. What fundamental quantum mechanical principles enable quantum computers to outperform classical computers in specific computational tasks?

RQ2. What are the major technological barriers preventing the widespread implementation of quantum computers?

RQ3. Which scientific and industrial fields are expected to benefit most from future advances in quantum computing?

METHODS AND MATERIALS

The operating principles of quantum computers differ fundamentally from those of classical computers. While classical computing is based on classical physics and deterministic logic, quantum computing relies on the laws of quantum mechanics.

To understand how quantum computers function, it is essential to become familiar with several key quantum principles.

1. **Principle of Superposition:** In classical computing, a bit can take only one of two values at any given time: 0 or 1. In contrast, a quantum bit, or qubit, can exist in a linear combination of both states simultaneously. This phenomenon is known as superposition.

Mathematically, a qubit can be represented as a combination of $|0\rangle$ and $|1\rangle$ states, meaning that until measurement occurs, the qubit encodes probabilities of both outcomes. Superposition enables quantum computers to process a vast number of possible solutions at once, dramatically increasing computational potential for certain classes of problems.

2. **Interference:** quantum systems can evolve toward a result through multiple computational paths simultaneously. These paths can interfere with one another, either reinforcing correct solutions (constructive interference) or canceling incorrect ones (destructive interference).

Interference is crucial for quantum algorithms because it allows them to amplify the probability of correct answers while suppressing incorrect possibilities. This principle is one of the main reasons why quantum algorithms can outperform classical ones for specific tasks.

3. **Entanglement:** qubits can become strongly correlated in a way that has no classical equivalent. This phenomenon is known as entanglement. When qubits are entangled, the state of one qubit is directly related to the state of another, regardless of the physical distance between them.

Entanglement enables highly coordinated quantum operations across multiple qubits and forms the backbone of many powerful quantum algorithms. It allows quantum computers to process complex, multidimensional information structures more efficiently than classical systems.

To better illustrate the fundamental differences between conventional and quantum computing systems, Table 1 compares their key characteristics. The comparison highlights differences in information representation, computational principles, and potential applications, demonstrating why quantum computers offer significant advantages for solving specific classes of computational problems.

Table 1 - Comparative Characteristics of Classical and Quantum Computers

Parameter	Classical Computer	Quantum Computer
Basic unit	Bit (0 or 1)	Qubit (0, 1, superposition)
Processing style	Sequential computations	Parallel quantum state evolution
Cryptographic impact	Difficult to break RSA	Efficient factoring via Shor's algorithm

As shown in Table 1, quantum computers differ fundamentally from classical computers in both their computational architecture and processing capabilities. While classical systems execute operations sequentially using binary bits, quantum computers exploit superposition and entanglement to perform certain computations more efficiently, particularly in cryptography, optimization, and molecular simulation.

Today, numerous research institutions and major technology companies are actively developing quantum computing technologies. Among the most prominent organizations are IBM, Google, and Microsoft. These companies are building increasingly powerful quantum processors and refining quantum algorithms [3, 4].

1. **IBM and Google.** In 2019, Google's Sycamore processor achieved what was described as "quantum supremacy." The processor completed a specific computational task in approximately 200 seconds—an operation estimated to take classical supercomputers thousands of years under similar conditions. Although the practical implications of this demonstration remain debated, it marked a significant milestone in the development of scalable quantum hardware.

2. **Medical Research Applications.** Quantum computing holds substantial promise in medicine and pharmaceutical research. One of its most promising applications is molecular simulation. Accurately modeling molecular interactions is computationally expensive for classical computers, but quantum systems are naturally suited to simulate quantum mechanical behavior in chemistry. This capability could accelerate drug discovery, protein folding analysis, and personalized medicine development.

Quantum algorithms can solve certain computational problems significantly faster than classical algorithms. The most famous example is Shor's algorithm, introduced by Peter Shor in 1994 [2]. Shor's algorithm can factor large integers exponentially faster than the best-known classical algorithms. Since widely used cryptographic systems—such as RSA—rely on the computational difficulty of factoring large numbers, large-scale

quantum computers could potentially break current public-key encryption schemes. Another important quantum algorithm is Grover's algorithm, which provides quadratic speedup for unstructured search problems. While it does not completely break symmetric encryption methods such as AES, it reduces their effective security level. As a result, researchers are actively developing post-quantum cryptography—classical encryption methods designed to remain secure even against quantum attacks. Despite significant progress, several major technical challenges remain:

1. **Qubit instability (decoherence):** Qubits are extremely sensitive to environmental disturbances. Quantum error correction: Reliable error-correcting codes require many physical qubits to create one stable logical qubit.

2. **Extreme cooling requirements:** Many quantum processors operate at temperatures near absolute zero.

3. **Scalability issues:** Increasing the number of qubits while maintaining coherence remains a major engineering challenge.

If these obstacles are successfully addressed, quantum computers could revolutionize industries ranging from cybersecurity to artificial intelligence and materials science.

RESULTS AND DISCUSSION

Several companies are working toward the commercialization of quantum processors. In addition to IBM, Google, and Microsoft, companies such as Intel, IonQ, and Honeywell are developing quantum hardware and cloud-based quantum services.

The commercialization process involves not only hardware development but also software platforms, development kits, and cloud access systems that allow researchers and businesses to experiment with quantum algorithms.

The practical significance of quantum computing extends across multiple sectors of the economy and scientific research. Table 2 summarizes several of the most promising industrial applications of quantum technologies.

Table 2 - Industrial Applications of Quantum Computing

Industry	Example Applications
Medicine	Drug discovery, molecular simulation
Finance	Portfolio optimization, risk assessment
Cryptography	Quantum Key Distribution (QKD)

The examples presented in Table 2 demonstrate that quantum computing is expected to influence a wide range of industries. Although many applications remain under active development, recent technological advances indicate considerable potential for commercial implementation in the coming decades. One of the most significant developments in quantum cryptography is Quantum Key Distribution (QKD). QKD leverages quantum mechanical principles to securely distribute encryption keys. Any attempt to intercept the key disturbs the quantum state, making eavesdropping detectable.

Unlike classical encryption methods, QKD offers theoretically provable security based on the laws of physics rather than computational complexity.

Quantum computing is reshaping educational systems worldwide. Universities are introducing specialized courses in quantum information science, quantum programming, and quantum engineering.

Developing a skilled workforce in quantum technologies requires interdisciplinary training that combines physics, computer science, mathematics, and electrical engineering. As quantum technologies mature, educational institutions must adapt their curricula to prepare the next generation of researchers and engineers. Quantum computers are expected to play a transformative role in industries such as

1. Chemistry and pharmaceuticals: Molecular modeling and new material discovery
2. Logistics: Supply chain optimization
3. Finance: Market prediction and portfolio management
4. Artificial intelligence: Acceleration of machine learning optimization tasks

Although practical large-scale deployment is still in development, early-stage industrial experiments are already demonstrating promising results.

CONCLUSION

Quantum computers offer extraordinary potential for advancing science and technology. Their computational power, which can vastly exceed that of classical computers for certain tasks, enables the

development of entirely new algorithms and problem-solving strategies. However, substantial technical challenges must be overcome before quantum computing becomes fully practical and commercially widespread.

The analysis demonstrates that quantum computing represents one of the most transformative technological developments of the twenty-first century. By exploiting the principles of superposition, entanglement, and quantum interference, quantum computers have the potential to solve computational problems that remain intractable for classical computing systems. Recent advances achieved by leading research organizations and technology companies indicate that quantum computing is steadily progressing from theoretical research toward practical implementation.

Despite these achievements, several critical challenges remain unresolved, including qubit decoherence, quantum error correction, scalability, and the demanding physical conditions required for stable quantum computation. Addressing these limitations will require continued interdisciplinary collaboration among physicists, computer scientists, engineers, and mathematicians.

In the coming decades, quantum computing is expected to significantly influence cryptography, artificial intelligence, materials science, pharmaceutical research, logistics, finance, and other knowledge-intensive industries. Furthermore, the rapid development of quantum technologies highlights the growing importance of quantum education and workforce preparation. Continued investment in research, technological innovation, and international cooperation will play a decisive role in unlocking the full scientific and industrial potential of quantum computing. In the future, quantum computers may revolutionize information security, medicine, artificial intelligence, materials science, and many other fields. Continued research, engineering innovation, and interdisciplinary collaboration will be essential to unlocking their full potential.

Author Contribution Statement (CRediT Taxonomy): E.V. Kharin: Conceptualization (lead),

Investigation, Literature review, Methodology, Formal analysis, Visualization, Writing – Original Draft. **M.N.A. Azman:** Validation, Supervision, Writing – Review & Editing, Critical revision of the manuscript, Project administration. Both authors have read and approved the final version of the manuscript and agree to be accountable for all aspects of the work.

Funding. This research received no external funding.

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

Acknowledgment. The authors would like to thank Karaganda Industrial University (Kazakhstan)

and the Faculty of Technical and Vocational, Sultan Idris Education University (Universiti Pendidikan Sultan Idris, UPSI), Malaysia, for their academic support and for providing a collaborative research environment that contributed to the preparation of this study.

Copyright © 2026 by the author(s). This article is published as Open Access under the Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0) license. This license permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. Derivative works must be distributed under the same license.

REFERENCES

- [1] M. A. Nielsen and I. L. Chuang, Quantum Computation and Quantum Information, 10th Anniversary ed. Cambridge, U.K.: Cambridge Univ. Press, 2010.
- [2] P. W. Shor, "Algorithms for quantum computation: Discrete logarithms and factoring," in Proc. 35th Annu. Symp. Foundations of Computer Science (FOCS), Santa Fe, NM, USA, 1994, pp. 124–134.
- [3] F. Arute et al., "Quantum supremacy using a programmable superconducting processor," Nature, vol. 574, no. 7779, pp. 505–510, Oct. 2019, doi: 10.1038/s41586-019-1666-5.
- [4] J. Preskill, "Quantum computing in the NISQ era and beyond: Recent developments and future perspectives," Quantum, vol. 8, Art. no. 1452, 2024.
- [5] M. Cerezo et al., "Variational quantum algorithms," Nature Reviews Physics, vol. 3, no. 9, pp. 625–644, 2021, doi: 10.1038/s42254-021-00348-9.
- [6] K. Bharti et al., "Noisy intermediate-scale quantum (NISQ) algorithms," Reviews of Modern Physics, vol. 94, no. 1, Art. no. 015004, 2022, doi: 10.1103/RevModPhys.94.015004.

IT TECHNOLOGIES, ENERGY, AUTOMATION AND COMPUTING

DOI: <https://www.doi.org/10.53002/124>

CLASSIFICATION OF WATER TRANSPARENCY (TURBIDITY) BY LEVEL BASED ON DEEP LEARNING

A.T. Sekerbaev

Cyprus International University, Nicosia, Cyprus

E-mail: sekerbaevarystan2006@gmail.com

Author information:

A.T. Sekerbaev - *Cyprus International University, Nicosia, Cyprus. E-mail: sekerbaevarystan2006@gmail.com*

Abstract. Accurate classification of turbidity is essential to maintain water quality in a variety of contexts, from drinking water to industrial processes. Traditional turbidimeters face challenges, including the resistance of colored objects, changes in the shape and size of parts, and the need for constant calibration and maintenance. In this document, a convolutional neural network (CNN) is implemented to classify water samples according to their degree of turbidity. The dataset consisted of images taken in laboratory conditions where blur levels were monitored and measured using a 2100p portable turbidimeter. CNN achieved 97.00% classification accuracy in laboratory conditions. When tested on samples of water bodies in the real world, the model retained 85.00% accuracy. The results show that deep learning can effectively classify blur levels, offering a promising solution to overcome the limitations of traditional methods. The study demonstrates the potential of CNN for accurate and effective measurement of turbidity, balancing accuracy and the possibility of practical application in field conditions.

Keywords: water quality, deep learning, accuracy, drinking water quality, blur level detection, image-based analysis.

ТЕРЕҢ ОҚЫТУ НЕГІЗІНДЕ СУДЫҢ МӨЛДІРЛІГІН (ЛАЙЛАНУЫН) ДЕҢГЕЙ БОЙЫНША ЖІКТЕУ

A.T. Sekerbaev

Kıpr халықаралық университеті, Никосия, Kıpr

E-mail: sekerbaevarystan2006@gmail.com

Автор туралы ақпарат:

A.T. Sekerbaev - *Kıpr халықаралық университеті, Никосия, Kıpr. E-mail: sekerbaevarystan2006@gmail.com*

Аңдатпа. Лайланудың нақты жіктелуі ауыз судан бастап өндірістік процестерге дейінгі әртүрлі контексттерде судың сапасын сақтау үшін өте маңызды. Дәстүрлі турбидиметрлер түрлі-түсті заттардың кедергісін, бөлшектердің пішіні мен өлшемдерінің өзгеруін, үнемі калибрлеу мен техникалық қызмет көрсетуді қажет ететін қиындықтарға тап болады. Бұл құжатта су үлгілерін лайлану дәрежесіне қарай жіктеу үшін конволюциялық нейрондық желі (CNN) енгізілген. Деректер жинағы 2100p портативті турбидиметр көмегімен өлшенетін бұлыңғырлық деңгейлері бақыланатын зертханалық жағдайларда түсірілген суреттерден тұрды. CNN зертханалық параметрлерде 97,00% жіктеу дәлдігіне қол жеткізді. Нақты әлемдегі су объектілерінің үлгілерінде сыналған кезде модель 85,00% дәлдікті сақтап қалды. Нәтижелер терең оқыту дәстүрлі әдістердің шектеулерін еңсерудің перспективасы шешімін ұсына отырып, бұлыңғырлық деңгейлерін тиімді жіктей алатынын көрсетеді. Зерттеу спп-дің бұлыңғырлықты дәл және тиімді өлшеу, дәлдікті теңестіру және далалық жағдайларда практикалық қолдану мүмкіндігі үшін әлеуетін көрсетеді.

Түйін сөздер: судың сапасы, тереңдетіп оқыту, дәлдік, ауыз судың сапасы, бұлыңғырлық деңгейін анықтау, кескінге негізделген талдау.

КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОЗРАЧНОСТИ (МУТНОСТИ) ВОДЫ ПО УРОВНЯМ НА ОСНОВЕ ГЛУБОКОГО ИЗУЧЕНИЯ

A.T. Sekerbaev

Кипрский международный университет, Никосия, Кипр

E-mail: sekerbaevarystan2006@gmail.com

Информация об авторе:

A.T. Sekerbaev - *Кипрский международный университет, Никосия, Кипр. E-mail: sekerbaevarystan2006@gmail.com*

Аннотация. Точная классификация мутности необходима для поддержания качества воды в различных условиях, от питьевой воды до промышленных процессов. Традиционные турбидиметры сталкиваются с проблемами, в том числе с устойчивостью окрашенных объектов, изменением формы и размера деталей, а также необходимостью постоянной калибровки и технического обслуживания. В этом документе реализована сверточная нейронная сеть (CNN) для классификации проб воды в соответствии со степенью их мутности. Набор данных состоял из изображений, сделанных в лабораторных условиях, где отслеживались уровни размытости, измеренные с помощью портативного турбидиметра 2100p. CNN достигла точности классификации лабораторных параметров на 97,00%. При тестировании на образцах водоемов в реальном мире точность модели составила 85,00%. Результаты показывают, что глубокое обучение может эффективно классифицировать уровни размытости, предлагая многообещающее решение для преодоления ограничений традиционных методов. Исследование демонстрирует потенциал CNN для точного и эффективного измерения мутности, точности балансировки и возможности практического применения в полевых условиях.

Ключевые слова: качество воды, глубокое обучение, точность, качество питьевой воды, определение уровня размытости, анализ на основе изображений.

MAIN PROVISION

This study proposes an image-based convolutional neural network approach for classifying water samples according to their turbidity levels. The model is trained using a balanced dataset of laboratory images labelled with turbidity values measured by a portable turbidimeter. The proposed approach achieves high classification accuracy while requiring relatively low computational resources, demonstrating its potential as a practical and cost-effective alternative to conventional turbidity measurement methods.

INTRODUCTION

Water quality is a comprehensive term that encompasses the various physical, chemical, and biological characteristics of water, defining its suitability for various purposes such as drinking water [1,2], recreational activities [3], agricultural irrigation [4,5], and industrial processes [6]. Water quality assessment involves measuring a number of parameters to understand the presence and concentration of pollutants and the overall health of a water body [7]. Physical characteristics such as temperature, color, smell, taste, and turbidity provide important information about conditions in the aquatic environment. Temperature affects the metabolic rate of aquatic organisms and the solubility of gases, and color can indicate the presence of organic matter, pollutants, or minerals. Smell and taste often indicate

organic compounds, microbial activity, chemical pollutants, and turbidity affecting light penetration and aquatic ecosystems [8,9,10]. Chemical aspects, including pH, dissolved oxygen (DO), nutrients, heavy metals, and organic compounds, are very important in determining water quality. The pH level indicates the acidity or alkalinity of water, which can affect various biological and chemical processes. DO is very important for the survival of aerobic organisms, and low levels often mean pollution. Nutrients such as nitrogen and phosphorus are essential for plant growth, but can lead to eutrophication when in excess. The presence of heavy metals such as lead, mercury, and arsenic, even in low concentrations, poses significant health risks. At the same time, organic compounds, including pesticides, herbicides, and industrial chemicals, can harm humans and Wildlife [11,12,13,14]. Finally, some biological factors are important indicators of water quality. Bacteria and viruses can pose health risks by indicating fecal contamination and causing disease [15]. Algae blooms, often caused by nutrient pollution, can consume oxygen levels and release toxins that are harmful to aquatic life.

The physical characteristic of opacity is the cloudiness or turbidity of a liquid due to many particles that are usually invisible to the naked eye [7]. Turbidity is measured using turbidimeters that estimate the amount of light scattered at an angle of 90 degrees to the incident light [16]. These particles

scatter and absorb light, reducing the transparency of the liquid. The measurement process involves several steps. First, usually a beam of light from an LED or laser is directed through the sample with a wavelength selected according to the size and type of particles expected in the sample. The liquid sample is placed in a transparent container called a cuvette, allowing light to pass through it. As light moves through the sample, it interacts with the suspended particles, causing scattering, which is measured by detectors located at different angles, usually 90 degrees to the incident light. The intensity of scattered light, directly proportional to the turbidity of the sample, is converted by turbidimetric electronics to the turbidity value, which is usually expressed in Nephelometric Turbidity Units (NTU) or formazine Nephelometric units (FNU). These steps require knowledge and training in the use of turbidimeters. In addition, the measurement of blur faces many difficulties. The interference of colored objects in water can absorb incident light, making it difficult to estimate blur and obtain accurate readings in color or painted samples [17]. The assumption of uniform particle sizes and shapes increases the complexity, as natural samples often contain different particles that scatter light differently, causing discrepancies and inaccuracies in readings [18]. Turbidimeters also require periodic calibration with standards such as formazan and meticulous cuvettes and maintenance of optical components to ensure accuracy, which can be time-consuming and expensive. Moreover, the detection range of these meters is limited; very high particle concentrations can cause many scattering events, leading to nonlinear responses and inaccurate readings at high blur levels. External factors such as ambient light, temperature fluctuations, and vibration can interfere with the measurements, which requires appropriate shielding and environmental monitoring to obtain reliable data.

Research gap. Conventional turbidimeters provide reliable measurements but are affected by several practical limitations, including interference from coloured substances, variations in particle shape and size, restricted measurement ranges, sensitivity to environmental conditions, and the need for regular calibration and maintenance. Although machine-learning and deep-learning techniques have increasingly been applied to water-quality assessment, many existing approaches require large datasets, complex sensor systems, strict lighting control, satellite or UAV imagery, or substantial computational resources. Therefore, there remains a need for a simple, low-cost, and computationally

efficient image-based method capable of accurately classifying water turbidity levels under both controlled and real-world conditions.

Novelty statement. The novelty of this study lies in the development of a computationally efficient CNN-based classification method using a carefully balanced image dataset covering turbidity values from 200 to 800 NTU. Unlike more complex approaches that depend on multiple sensors, UAV data, satellite imagery, or extensive computational resources, the proposed method employs a simplified experimental setup and image-based classification process while achieving 97% laboratory accuracy. The model is also evaluated using real-world water samples, demonstrating its potential for practical field applications.

METODOLOGY

High accuracy in the assessment of turbidity is crucial for maintaining healthy aquatic ecosystems and ensuring safe drinking water. Advances in machine learning provide promising solutions to improve the accuracy and efficiency of turbidity measurement to address traditional challenges and limitations in this important area. For example, the regression model achieved an accuracy of 91.23% when estimating water turbidity in the range of 0.02–60 NTU using RGB sensors. However, environmental factors such as temperature, light, and pH can affect sensor performance, introducing measurement variability [22]. This system requires careful calibration and testing to maintain accuracy, which is time-consuming and resource-intensive. In contrast, the recursive neural network (RNN2) model, using underwater sensors and UAV image data, achieves a prediction accuracy of 94.10% for Blur values from Qingtan Weir in Taiwan [23]. However, UAV operations are sensitive to weather conditions, which can affect the stability of data collection. The gradient amplification Solution Tree (GBDT) model shows 88.00% accuracy in the range of 0.94 to 103.43 NTU, but requires careful adjustment of hyperparameters and a significant amount of training data to achieve high accuracy [24]. The transfer learning method achieved a classification accuracy of 96.86% with the risk of over-docking that could compromise performance with new data [25]. The self-organizing multi-channel deep learning system (SMDLS) for monitoring river turbidity, evaluated in a comprehensive data set from nine locations over a year, increases accuracy by about 14.27% compared to other models based on PSNR, MSE, and NMGE

metrics [26]. However, its computational efficiency is limited due to the need to train seven subnets and combine their results. For measurements of turbidity and total suspended solids (TSS), the CNN implementation achieved an accuracy of 98.24% for TSS and 97.20% for turbidity through the use of white light; however, it is very important to accurately control the lighting distance and camera position,

which can be difficult in field conditions without special equipment [27]. In addition, a study used by CNN to accurately classify the turbidity of water samples containing a relatively small data set of 200 images achieved a total accuracy of 97.5% in classifying the turbidity from 0 to 250 NTU, noting the need for a larger data set to increase the generalization accuracy of the model [28].

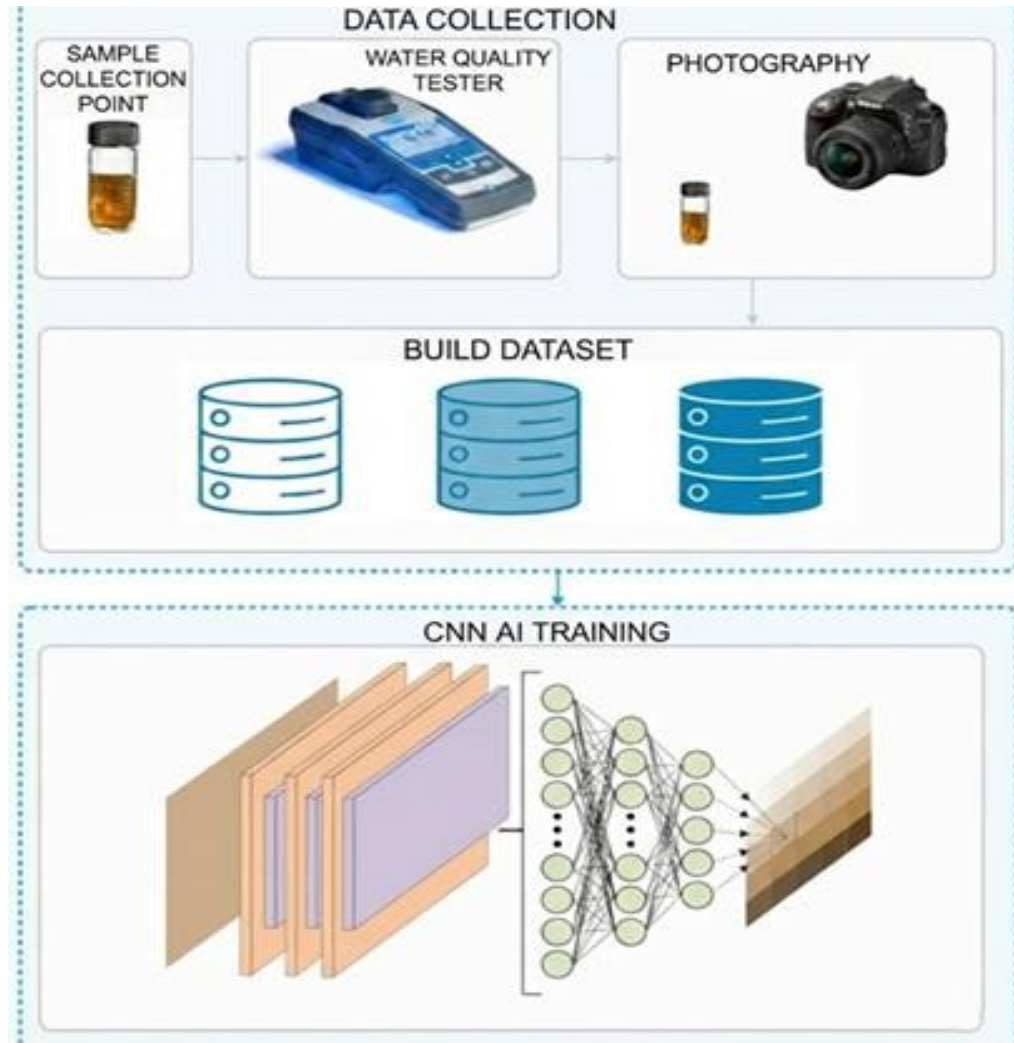


Figure 1 - CNN opacity classification methodology review

This document describes the result of a comprehensively adapted data set for CNN training. The data set is carefully balanced to ensure that the samples are evenly distributed in five different classes. Each image has been carefully selected to be clear and noise-free, with precise marking to provide high-quality reading data for CNN. Each sample is associated with a specific NTU value, which is accurately measured using a turbidimeter. The novelty of this study lies in its simple classification process, which requires low computing resources due to the characteristics of the presented CNN and data sets. Unlike previous studies, this study collects water samples with NTU values ranging from 200 to 800 and achieves high accuracy in their classification. The images were taken by an experimental setup to reduce external interference and ensure correct classification, as shown in Figure 1. Although simple, this installation is very important to achieve reliable results. The classification process achieves an impressive 97.00% accuracy of turbidity classification, indicating the ability of this approach to accurately select classes in muddy water applications.

RESEARCH RESULTS

CNN's performance in real conditions remains competitive compared to other samples in the literature. A test bench and calibration method were used for classification; an accuracy of 91.23% was achieved with the K-nearest neighbor classifier, indicating the importance of controlled experimental conditions for reliable results. Along with higher R-square values of 20.89 during training and 36.11 during testing, 99.30% for training and 94.10% for testing, Sentinel-2 demonstrates significant predictive accuracy despite its own complexity and computational demands aimed at obtaining data through the correct processing of satellite images and the removal steps of pre-cloud provision images and atmospheric effects. This made it possible to collect accurate spectral reflection data, which is important for reliable blur assessment. On the other hand, it relied on a large river turbidity control dataset containing 11,681 data points from nine registered locations during the year, which improved accuracy by 14.27% over other models, even though it faced computational inefficiency due to the large amount of data and processing requirements. Finally, using the CNN architecture (AlexNet) in a dataset that uses liquid samples illuminated by LEDs and recorded by a smartphone camera, it achieved an accuracy of 97.20%, taking advantage of different lighting conditions and the ability to take high-quality

pictures. In contrast, the proposed CNN achieves an accuracy of 97.00% with a simple classification process and a carefully balanced dataset that includes actual NTU values of 200 to 800, indicating a demand for low computing resources while maintaining high accuracy. The controlled experimental setup highlighted the ability to effectively and accurately classify blur in practical applications, reducing external interference.

In light of the above analysis, this study demonstrates the effectiveness and practicality of the proposed CNN in various parameters, highlighting its competitive advantage and potential for real-world applications in blur estimation.

CONCLUSION

The proposed CNN demonstrates competitive performance compared to other models in the literature, such as RGB sensors, rnn2, GBDT, transfer learning methods, and regression models such as SMDLS, while maintaining high accuracy and practical applicability. Although some samples show high accuracy rates, they often require large-scale calibration, accurate monitoring of environmental conditions, or significant computing resources. The methodology used to create a data set of merit measurements allowed CNN to achieve high accuracy, with a significant accuracy of 97% for laboratory measures and 85% for specific samples. This rigorous data set is critical to CNN's success. In addition, the proposed CNN's simplicity and lower computational requirements make it a viable option for field applications, especially in less controlled environmental conditions. However, further tuning and adaptation are required to increase its resistance to environmental changes. In general, the proposed CNN offers a promising solution for measuring blur in real-world conditions, effectively balancing accuracy and practicality.

Funding. This research received no external funding.

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

Copyright © 2026 by the author(s). This article is published as Open Access under the Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0) license. This license permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. Derivative works must be distributed under the same license.

REFERENCES

- [1] Cotruvo, J. Drinking Water Quality and Contaminants Guide; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2018.
- [2] Water, Sanitation, Hygiene and Health (WSH). Global Review of National Regulations and Standards for Drinking Water Quality, 2nd ed.; World Health Organization (WHO): Geneva, Switzerland, 2021.
- [3] Dorevitch, S.; DeFlorio-Barker, S.; Jones, R.M.; Liu, L. The role of water quality in predicting gastrointestinal illness during incidental water ingestion. *Water Research* 2015, 83, 94–103.
- [4] Zaman, M.; Shahid, S.A.; Heng, L. Irrigation water quality. In: *Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2018; pp. 113–131.
- [5] Malakar, A.; Snow, D.D.; Ray, C. Irrigation water quality—A contemporary perspective. *Water* 2019, 11, 1482.
- [6] Ahmad, T.; Aadil, R.M.; Ahmed, H.; Rahman, U.u.; Soares, B.C.V.; Souza, S.L.Q.; Pimentel, T.C.; Scudino, H.; Guimarães, J.T.; Esmerino, E.A.; et al. Treatment and utilization of dairy industrial waste: A review. *Trends in Food Science & Technology* 2019, 88, 361–372.
- [7] Boyd, C.E. *Water Quality: An Introduction*; Springer International Publishing: Berlin/Heidelberg, Germany, 2020.
- [8] Abrahams, M.V.; Kattenfeld, M.G. The effect of pollution on predator–prey interactions in aquatic ecosystems. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 1997, 40, 169–174.
- [9] Utne-Palm, A. Visual feeding of fish in turbid waters: Physical and behavioural aspects. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology* 2002, 35, 111–128.
- [10] Chivers, D.P.; Al-Batati, F.; Brown, G.E.; Ferrari, M.C.O. The effects of pollution on predator recognition and generalization. *Ecology and Evolution* 2012, 3, 268–277.
- [11] Shukla, G.; Kumar, A.; Bhanti, M.; Joseph, P.E.; Taneja, A. Organochlorine pesticide contamination of groundwater in Hyderabad city. *Environment International* 2006, 32, 244–277.
- [12] Nicolopoulou-Stamati, P.; Maipas, S.; Kotampasi, C.; Stamatis, P.; Hens, L. Chemical pesticides and human health: The need for a new concept in agriculture. *Frontiers in Public Health* 2016, 4, 148.
- [13] M.F.; Ahmad, F.A.; Alsayegh, A.A.; Zeyauallah, M.; AlShahrani, A.M.; Muzammil, K.; Saati, A.A.; Wahab, S.; Elbendary, E.Y.; Kambal, N.; et al. Impact of pesticides on human health and the environment, their mechanisms of action, and countermeasures. *Heliyon* 2024, 10, e29128.
- [14] Lin, J.; Ganesh, A. Water quality indicators: Bacteria, coliforms, and enteric viruses. *International Journal of Environmental Health Research* 2013, 23, 484–506.
- [15] Bin Omar, A.F.; Ghazi, R.M.; Yusoff, N.R.N.; Halim, N.S.A.; Wahab, I.R.A.; Latif, N.A.; Hasmoni, S.H.; Zaini, M.A.A.; Zakaria, Z.A. Health impacts of herbicides and strategies for their removal. *Bioengineered* 2023, 14, 2259526.
- [16] Ahmad, M.F.; Ahmad, F.A.; Alsayegh, A.A.; Zeyauallah, M.; AlShahrani, A.M.; Muzammil, K.; Saati, A.A.; Wahab, S.; Elbendary, E.Y.; Kambal, N.; et al. Impact of pesticides on human health and the environment, their mechanisms of action, and countermeasures. *Heliyon* 2024, 10, e29128.
- [17] Lin, J.; Ganesh, A. Water quality indicators: Bacteria, coliforms, and enteric viruses. *International Journal of Environmental Health Research* 2013, 23, 484–506.
- [18] Bin Omar, A.F.; Bin MatJafri, M.Z. A review of fiber-optic sensors for measuring pollution levels. *Sensors* 2009, 9, 8311–8335.

ЭКОНОМИКА. ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ, СОЦИАЛЬНО-ГУМАНИТАРНЫЕ И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ДИСЦИПЛИНЫ

DOI: <https://www.doi.org/10.53002/125>

ANALYSIS AND WAYS TO IMPROVE OPERATIONAL MANAGEMENT IN A CONSTRUCTION AND INSTALLATION COMPANY IN CONDITIONS OF ECONOMIC INSTABILITY

^{1*}Ibraev B.S., ¹Tatieva M.M., ¹Petrovskaya A.S., ¹Akmaganbetova A.S., ²Nurgaliyeva A.K.

¹Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan

²Temirtau Higher Polytechnic College, Temirtau, Kazakhstan

* Corresponding author email: b.ibraev@tttu.edu.kz

Author information:

Ibraev B.S. - Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan. E-mail: b.ibraev@tttu.edu.kz

Tatieva M.M. - Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan. E-mail: m.tatieva@tttu.edu.kz

Petrovskaya A.S. - Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan. E-mail: a.petrovskaya@tttu.edu.kz

Akmaganbetova A.S. - Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan. E-mail: a.akmaganbetova@tttu.edu.kz

Nurgaliyeva A.K. - Temirtau Higher Polytechnic College, Temirtau, Kazakhstan. E-mail: assel_n80@inbox.ru

Abstract. The article discusses the issues of analysis and improvement of operational management in a construction and installation company in conditions of economic instability. The study was carried out based on official statistical data and a practical analysis of the activities of «Akbulak BOV» LLP, operating in conditions of rising inflation, volatility in prices for building materials and disruptions in logistics chains. The analysis revealed priority operational problems related to insufficient flexibility in operational planning, inconsistency in work and delivery schedules, and limited effectiveness in controlling deadlines and costs. The features of management of production and resource processes at the level of construction facilities are considered. The directions of operational management improvement are substantiated, focused on increasing the adaptability of management decisions, optimizing the use of resources, reducing costs, and ensuring the sustainable development of a construction and installation company in an unstable economic environment.

Key words: operational management, construction industry, construction and installation company, economic instability, cost management, production planning, efficiency, resource management, construction projects, Kazakhstan.

ЭКОНОМИКАЛЫҚ ТҰРАҚСЫЗДЫҚ ЖАҒДАЙЫНДА ҚҰРЫЛЫС-МОНТАЖДАУ КОМПАНИЯСЫНДА ОПЕРАЦИЯЛЫҚ БАСҚАРУДЫ ТАЛДАУ ЖӘНЕ ЖЕТІЛДІРУ ЖОЛДАРЫ

^{*1}Ибраев Б.С., ¹Татиева М.М., ¹Петровская А.С., ¹Акмаганбетова А.С., ²Нурғалиева А.К.

¹Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан

²Теміртау жоғары политехникалық колледжі, Теміртау, Қазақстан

* Автор-корреспондент e-mail: b.ibraev@tttu.edu.kz

Авторлар туралы ақпарат:

Ибраев Б.С. - Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан. E-mail: b.ibraev@tttu.edu.kz

Татиева М.М. - Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан. E-mail: m.tatieva@tttu.edu.kz

Петровская А.С. - Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан. E-mail: a.petrovskaya@tttu.edu.kz

Акмаганбетова А.С. - Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан. E-mail: a.akmaganbetova@tttu.edu.kz

Нурғалиева А.К. - Теміртау жоғары политехникалық колледжі, Теміртау, Қазақстан. E-mail: assel_n80@inbox.ru

Аңдатпа. Мақалада экономикалық тұрақсыздық жағдайында құрылыс-монтаж компаниясында операциялық басқаруды талдау және жетілдіру мәселелері қарастырылады. Зерттеу инфляцияның өсуі, құрылыс материалдары бағасының құбылмалылығы және логистикалық тізбектердің бұзылуы жағдайында жұмыс істейтін «Ақбұлақ

БОВ» ЖШС қызметінің ресми статистикалық деректері мен практикалық талдауы негізінде орындалды. Талдау барысында жедел жоспарлаудың икемділігінің жеткіліксіздігімен, жұмыс және жеткізу кестелерінің сәйкес келмеуімен, сондай-ақ уақыт пен шығындарды бақылаудың шектеулі тиімділігімен байланысты операциялық сипаттағы басым проблемалар анықталды. Құрылыс объектілері деңгейінде өндірістік және ресурстық процестерді басқару ерекшеліктері қарастырылған. Басқару шешімдерінің бейімделуін арттыруға, ресурстарды пайдалануды оңтайландыруға, шығындарды азайтуға және тұрақсыз экономикалық ортада құрылыс-монтаждау компаниясының тұрақты дамуын қамтамасыз етуге бағытталған операциялық басқаруды жетілдіру бағыттары негізделген.

Түйін сөздер: операциялық басқару, құрылыс саласы, Құрылыс-монтаж компаниясы, экономикалық тұрақсыздық, шығындарды басқару, өндірістік жоспарлау, қызметтің тиімділігі, ресурстарды басқару, құрылыс жобалары, Қазақстан.

АНАЛИЗ И ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОПЕРАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНОЙ КОМПАНИИ В УСЛОВИЯХ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ НЕСТАБИЛЬНОСТИ

^{1*}Ибраев Б.С., ¹Татиева М.М., ¹Петровская А.С., ¹Акмаганбетова А.С., ²Нурғалиева А.К.

¹Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

²Темиртауский высший политехнический колледж Темиртау, Казахстан

* Автор-корреспондент e-mail: b.ibraev@tttu.edu.kz

Информация об авторах:

Ибраев Б.С. - Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан. E-mail: b.ibraev@tttu.edu.kz

Татиева М.М. - Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан. E-mail: m.tatiyeva@tttu.edu.kz

Петровская А.С. - Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан. E-mail: a.petrovskaya@tttu.edu.kz

Акмаганбетова А.С. - Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан. E-mail: a.akmaganbetova@tttu.edu.kz

Нурғалиева А.К. - Темиртауский высший политехнический колледж Темиртау, Казахстан. E-mail: assel_n80@inbox.ru

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы анализа и совершенствования операционного управления в строительной-монтажной компании в условиях экономической нестабильности. Исследование выполнено на основе официальных статистических данных и практического анализа деятельности ТОО «Ақбұлақ БОВ», функционирующего в условиях роста инфляции, волатильности цен на строительные материалы и нарушений логистических цепочек. В ходе анализа выявлены приоритетные проблемы операционного характера, связанные с недостаточной гибкостью оперативного планирования, несогласованностью графиков работ и поставок, а также ограниченной эффективностью контроля сроков и затрат. Рассмотрены особенности управления производственными и ресурсными процессами на уровне строительных объектов. Обоснованы направления совершенствования операционного управления, ориентированные на повышение адаптивности управленческих решений, оптимизацию использования ресурсов, сокращение издержек и обеспечение устойчивого развития строительной-монтажной компании в нестабильной экономической среде.

Ключевые слова: операционное управление, строительная отрасль, строительная-монтажная компания, экономическая нестабильность, управление затратами, производственное планирование, эффективность деятельности, управление ресурсами, строительные проекты, Казахстан.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Проведено комплексное исследование операционного управления строительной-монтажной компании в условиях экономической нестабильности на примере ТОО «Ақбұлақ БОВ». На основе анализа официальных статистических данных и производственно-экономических

показателей выявлены ключевые проблемы, связанные с инфляционными процессами, ростом стоимости строительных материалов, нарушением логистических цепочек и недостаточной гибкостью системы оперативного управления. Предложены направления совершенствования операционного управления,

ориентированные на повышение адаптивности управленческих решений, оптимизацию использования ресурсов, сокращение издержек и обеспечение устойчивого развития строительной организации.

ВВЕДЕНИЕ

Экономическая нестабильность в Республике Казахстан оказывает комплексное влияние на функционирование строительной отрасли, в частности на деятельность строительно-монтажных организаций, усиливая управленческие риски и затрудняя реализацию проектов. Ведущими факторами воздействия являются ускорение инфляционных процессов, рост цен на строительные материалы и комплектующие, нарушение логистических цепочек и неопределенность инвестиционных потоков, что в совокупности снижает предсказуемость операционной деятельности. Указанные макроэкономические обстоятельства трансформируются в рост операционных издержек, необходимость частых корректировок производственных и финансовых планов, увеличение числа непредвиденных затрат и срывы календарных графиков работ.

На этом фоне особый интерес представляет динамика развития строительной отрасли в целом, поскольку она позволяет оценить масштабы и характер возникающих управленческих вызовов. В 2025 году строительная отрасль Казахстана продолжила демонстрировать рост: по данным Бюро национальной статистики Республики Казахстан, объем выполненных строительных работ в январе–феврале составил 408,1 млрд тенге, что на 12,8 процента выше показателей аналогичного периода предыдущего года [1]. Данная положительная динамика свидетельствует о сохраняющемся спросе на строительство жилых и инфраструктурных объектов даже в условиях усложнения экономической среды. Вместе с тем количественный рост объемов строительства сопровождается качественным усложнением операционного управления, поскольку сохраняется высокий уровень инфляции, который в 2025 году превышал 12 процентов в годовом выражении [2]. Это обстоятельство приводит к удорожанию строительных ресурсов и увеличению себестоимости строительно-монтажных работ, усиливая нагрузку на операционные системы подрядных организаций.

Рассматривая влияние указанных тенденций на региональном уровне, следует отметить, что они наиболее отчетливо проявляются в

экономически значимых промышленных городах. В этом контексте особое значение имеют условия функционирования строительных компаний в городе Темиртау Карагандинской области. Темиртау является крупным промышленным центром с интенсивным производственным циклом, где исторически градообразующим сектором выступает металлургия, в структуре которой занято значительное число предприятий машиностроения и производства строительных материалов [3][10]. По статистическим данным население Темиртау составляет 179 234 человека, что определяет город как заметный центр региональной экономики [5]. Включение Темиртау в программу развития моногородов Республики Казахстан, направленную на решение социально-экономических проблем индустриальных центров, дополнительно подчеркивает необходимость устойчивого развития строительного сектора и повышения эффективности деятельности местных подрядных организаций [4-6].

Указанные особенности формируют специфическую среду функционирования строительно-монтажных компаний, в которой общенациональные макроэкономические риски дополняются локальными факторами. В контексте строительной отрасли и операционного управления это обуславливает необходимость учета региональной специфики, включая нестабильность поставок материалов, зависимость от инвестиционной активности крупных промышленных предприятий и влияние макроэкономических факторов на локальный инвестиционный и потребительский спрос. Так, реализация масштабных промышленных инвестиционных проектов, включая строительство литейно-прокатного комплекса стоимостью порядка 338,4 млрд тенге в Темиртау с планируемым вводом в эксплуатацию к 2027 году, формирует дополнительный спрос на строительные ресурсы и рабочую силу, одновременно создавая повышенные логистические и организационные вызовы для строительного сектора региона [3-6].

В совокупности указанные обстоятельства обуславливают возрастание роли операционного управления как стратегически значимого инструмента обеспечения устойчивости строительно-монтажных компаний. Операционное управление в данных условиях охватывает координацию производственных процессов, оптимизацию использования трудовых и материальных ресурсов, управление закупками и графиками поставок, адаптацию к

изменяющимся внешним условиям и минимизацию операционных рисков. В этой связи последующий анализ материалов и методов исследования ориентирован на выявление причинно-следственных связей между макроэкономической нестабильностью, региональной спецификой и состоянием операционного управления на уровне конкретной строительно-монтажной компании.

Цель исследования. Целью исследования является анализ состояния операционного управления в строительно-монтажной компании в условиях экономической нестабильности и разработка практических рекомендаций по совершенствованию системы оперативного управления, направленных на повышение эффективности использования ресурсов, снижение затрат и обеспечение устойчивого развития предприятия.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

- Проанализировать влияние экономической нестабильности на деятельность строительно-монтажных компаний Республики Казахстан.
- Исследовать особенности операционного управления на примере ТОО «Ақбұлақ БОВ».
- Выявить основные причины отклонений между плановыми и фактическими показателями выполнения строительно-монтажных работ.
- Оценить влияние инфляционных процессов, логистических ограничений и региональных факторов на эффективность операционного управления.
- Разработать практические рекомендации по совершенствованию системы оперативного управления и повышению адаптивности управленческих решений.

Научная проблема. Несмотря на значительное количество исследований, посвящённых операционному управлению в строительной отрасли, недостаточно изучены вопросы комплексного влияния экономической нестабильности на эффективность операционной деятельности строительно-монтажных компаний Казахстана. Большинство существующих исследований рассматривает отдельные аспекты управления затратами, сроками выполнения работ или материально-техническим обеспечением, тогда как вопросы интеграции оперативного планирования, управления ресурсами, логистики и адаптации к региональным особенностям в условиях высокой инфляции и нестабильности поставок остаются недостаточно разработанными.

Научная новизна. Научная новизна исследования заключается в комплексной оценке системы операционного управления строительно-монтажной компании на основе сочетания официальных статистических данных Республики Казахстан, практического анализа деятельности ТОО «Ақбұлақ БОВ» и оценки региональных особенностей функционирования строительного сектора города Темиртау. Предложена система ключевых показателей операционного управления, позволяющая повысить эффективность оперативного планирования, контроля затрат, использования ресурсов и адаптивности управленческих решений в условиях экономической нестабильности.

Исследовательские вопросы. Исследование направлено на поиск ответов на следующие вопросы:

RQ1. Какие факторы экономической нестабильности оказывают наибольшее влияние на эффективность операционного управления строительно-монтажной компании?

RQ2. Какие основные причины обуславливают отклонения между плановыми и фактическими показателями сроков выполнения работ и затрат?

RQ3. Какие инструменты операционного управления позволяют повысить адаптивность строительной компании к изменяющимся экономическим условиям?

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалами исследования послужили официальные статистические данные Бюро национальной статистики Республики Казахстан, аналитические материалы Национального Банка Республики Казахстан, а также внутренние управленческие и производственные данные ТОО «Ақбұлақ БОВ», отражающие планирование и выполнение строительно-монтажных работ, использование материальных и трудовых ресурсов, плановые и фактические показатели сроков и затрат. Методологическую основу исследования составляют системный и процессный подходы, позволяющие рассматривать операционное управление как совокупность взаимосвязанных процессов планирования, снабжения, производства и контроля. В работе применены методы экономического анализа, план-факт анализа,

сравнительного анализа и логического обобщения. Выбор данных методов обусловлен необходимостью выявления причинно-следственных связей между состоянием операционного управления и результатами деятельности строительной компании в условиях нестабильной экономической среды [1-3].

РАССУЖДЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Переходя от анализа макроэкономических и региональных условий к рассмотрению деятельности конкретной организации, следует отметить, что операционное управление в ТОО «Ақбұлақ БОВ» формируется под воздействием совокупности внешних и внутренних факторов. Компания функционирует в условиях высокой зависимости от динамики цен на строительные материалы, своевременности поставок и стабильности финансовых потоков. Согласно официальным данным, индексы цен на строительные материалы, приобретаемые строительными организациями, демонстрируют устойчивую тенденцию роста, что существенно повышает риск перерасхода сметной стоимости реализуемых проектов [3]. Данный фактор оказывает прямое влияние на операционное планирование, так как первоначально утвержденные сметы и графики работ в процессе реализации проектов требуют регулярной корректировки.

Для более детальной оценки влияния указанных условий был проведен практический анализ плановых и фактических показателей по объектам строительства ТОО «Ақбұлақ БОВ». Результаты анализа показали, что отклонения по срокам выполнения строительно-монтажных работ в среднем составляют 10-15 процентов, а перерасход прямых затрат достигает 8-12 процентов. Подобные отклонения свидетельствуют о том, что существующая система оперативного планирования и контроля не в полной мере адаптирована к условиям

экономической нестабильности. Основными причинами выявленных отклонений являются несогласованность графиков выполнения работ и поставок материалов, а также ограниченные возможности оперативного контроля за фактическим использованием ресурсов на уровне строительных объектов.

Следует подчеркнуть, что выявленные проблемы носят не разовый, а системный характер. В условиях экономической нестабильности данные ограничения усиливаются, поскольку рост инфляции снижает точность среднесрочного и долгосрочного планирования и требует постоянного пересмотра операционных планов. По оценкам Национального Банка Республики Казахстан, инфляционные ожидания бизнеса остаются повышенными, что усиливает неопределенность при формировании договорных цен и календарных графиков строительства [4]. В результате операционное управление все чаще приобретает реактивный характер, когда управленческие решения принимаются уже после возникновения отклонений, а не на этапе их предупреждения.

В этой связи особое значение приобретает анализ количественных показателей операционной деятельности, позволяющий объективно оценить масштабы влияния нестабильной экономической среды. Сравнительный план-факт анализ, представленный в таблице 1, наглядно демонстрирует устойчивое превышение фактических показателей над плановыми по срокам выполнения работ, прямым затратам, доле внеплановых закупок и простоя трудовых ресурсов. Для объективной оценки эффективности операционного управления в ТОО «Ақбұлақ БОВ» был проведен сравнительный анализ плановых и фактических показателей выполнения строительно-монтажных работ. Результаты анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Отклонения плановых и фактических показателей операционной деятельности ТОО «Ақбұлақ БОВ»

Показатель	Плановое значение	Фактическое значение	Отклонение
Сроки выполнения строительно-монтажных работ, %	100	110-115	+10-15
Прямые затраты на строительно-монтажные работы, %	100	108-112	+8-12
Доля внеплановых закупок материалов, %	5-7	12-15	+5-8
Простои трудовых ресурсов, смены	0-1	2-3	+1-2
*Примечание: составлено на основе внутренних данных ТОО «Ақбұлақ БОВ».			

Как видно из таблицы 1, наибольшие отклонения наблюдаются по срокам выполнения строительно-монтажных работ, объёму прямых затрат и доле внеплановых закупок материалов. Полученные результаты свидетельствуют о недостаточной гибкости существующей системы оперативного планирования и необходимости внедрения более эффективных механизмов контроля и координации производственных процессов. Увеличение сроков выполнения работ и рост затрат в значительной степени обусловлены нарушениями в системе снабжения и инфляционными факторами. В свою очередь, рост доли внеплановых закупок и простоев указывает на недостаточную эффективность координации производственных процессов и слабую интеграцию функций планирования, снабжения и контроля.

Таким образом, представленные данные позволяют сделать вывод о том, что основная нагрузка экономической нестабильности трансформируется в конкретные операционные отклонения по срокам и затратам. Наибольшие риски формируются в контуре снабжения и оперативного планирования, где влияние

внешних факторов сочетается с внутренними организационными ограничениями. Это обстоятельство подтверждает необходимость перехода от традиционных, слабо адаптивных моделей управления к более гибким и проактивным подходам в операционном управлении.

Для углубления анализа целесообразно рассмотреть влияние макроэкономических факторов в динамике. В этой связи на рисунке 1 представлена динамика индексов цен на строительные материалы в Республике Казахстан, отражающая рост затратной составляющей строительного производства. Изменение ценовых показателей позволяет проследить степень инфляционного давления в отрасли и объяснить причины роста себестоимости строительно-монтажных работ. Рост индексов цен на строительные материалы напрямую влияет на сметную стоимость проектов и требует регулярного пересмотра операционных планов. В условиях фиксированных контрактов это приводит к снижению рентабельности проектов и повышению операционных рисков для подрядных организаций.

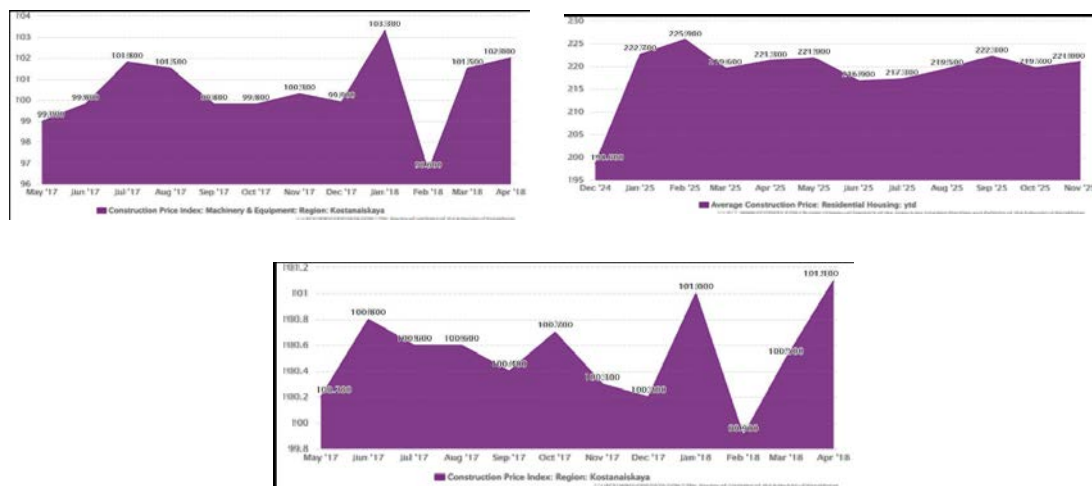


Рисунок 1 – Динамика индексов цен на строительные материалы в Республике Казахстан [1; 2]

Дополнительное усложнение операционного управления характерно для строительно-монтажных компаний, осуществляющих деятельность в городе Темиртау. Высокая зависимость города от промышленного цикла и инвестиционной активности крупных предприятий формирует специфические условия функционирования строительного сектора. Реализация масштабных промышленных проектов, включая строительство литейно-прокатных комплексов и модернизацию производственной инфраструктуры, способствует росту спроса на строительные ресурсы и рабочую силу. Одновременно это

усиливает конкуренцию за материалы и подрядчиков, повышает логистическую нагрузку и увеличивает риски сбоев в операционных процессах.

Указанные особенности обобщены в таблице 2, где представлены основные факторы локального влияния на операционное управление в городе Темиртау. Анализ данных факторов показывает, что региональная специфика усиливает воздействие общенациональных экономических рисков и требует от строительно-монтажных компаний более высокой адаптивности управленческих решений.

Таблица 2 - Факторы локального влияния на операционное управление в городе Темиртау

Фактор	Проявление	Влияние на операционное управление
Промышленная специализация	Металлургия, машиностроение	Рост спроса на строительно-монтажные работы (СМР) и ресурсы
Инвестиционные проекты	Крупные промышленные стройки	Рост логистической нагрузки
Статус моногорода	Государственные программы поддержки	Нестабильность спроса
Рынок труда	Ограниченный кадровый резерв	Риски простоев и роста фонда оплаты труда (ФОТ)
Примечание: составлено на основе источников [4][5][6]		

В этих условиях совершенствование операционного управления в ТОО «Ақбұлақ БОВ» целесообразно ориентировать на внедрение системного план-факт контроля по срокам и затратам, развитие системы оперативного мониторинга ключевых показателей и усиление процессного подхода к управлению. Использование системы ключевых операционных

показателей, представленных в таблице 3, позволяет повысить прозрачность управления, сократить управленческий лаг между выявлением отклонений и принятием корректирующих решений и обеспечить более устойчивое функционирование компании в условиях нестабильной экономической среды.

Таблица 3 - Основные показатели операционного управления для строительно-монтажной компании

Показатель	Экономический смысл
Отклонение сроков выполнения СМР	Контроль календарных рисков и соблюдения графиков строительства
Отклонение фактических затрат	Контроль себестоимости строительно-монтажных работ
Доля внеплановых закупок	Оценка качества оперативного и ресурсного планирования
Коэффициент простоев	Оценка эффективности использования трудовых и материальных ресурсов
Скорость управленческой реакции	Характеристика адаптивности операционного управления

Рост индексов цен на строительные материалы напрямую влияет на сметную стоимость строительно-монтажных работ и требует регулярного пересмотра операционных планов. В условиях фиксированных контрактов это приводит к снижению рентабельности проектов и повышению операционных рисков. Для строительно-монтажных компаний, работающих в городе Темиртау, дополнительным фактором нестабильности выступает высокая

зависимость от промышленного цикла и инвестиционной активности крупных предприятий. Реализация масштабных промышленных проектов, включая строительство литейно-прокатных комплексов и модернизацию производственной инфраструктуры, формирует повышенный спрос на строительные ресурсы и рабочую силу, что усиливает конкуренцию за материалы и подрядчиков (Рисунок 2).



Рисунок 2 – Типовая производственная среда строительно-монтажных работ в промышленном регионе

В качестве практического инструмента повышения эффективности операционного управления предлагается внедрение системы ключевых операционных показателей, ориентированной на контроль сроков, затрат и ресурсов.

Таким образом, включение статистических данных, табличного анализа и визуальных инструментов подтверждает, что экономическая нестабильность трансформируется в конкретные операционные отклонения по срокам, затратам и использованию ресурсов. Для ТОО «Ақбұлақ БОВ» приоритетным направлением является переход от реактивного управления к системному операционному контролю, основанному на план-факт анализе, цифровизации и учете региональной специфики города Темиртау. Это позволяет не только снижать текущие издержки, но и формировать устойчивую модель управления строительно-монтажной деятельностью в условиях нестабильной экономической среды [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12].

ВЫВОДЫ

Проведенное исследование подтвердило, что операционное управление является одним из ключевых факторов устойчивого развития строительно-монтажной компании в условиях экономической нестабильности. На примере ТОО «Ақбұлақ БОВ» установлено, что основные ограничения операционного управления связаны с ростом цен на строительные материалы, отклонениями фактических сроков и затрат от плановых показателей, а также недостаточной интеграцией процессов планирования и контроля. Использование официальных статистических данных и практического материала компании позволило обосновать необходимость перехода к более гибким и адаптивным моделям операционного управления. Совершенствование системы план-факт анализа, развитие процессного подхода и применение инструментов оперативного мониторинга создают условия для

снижения издержек, повышения управляемости проектов и обеспечения устойчивости строительно-монтажной компании в условиях нестабильной экономической среды.

Авторский вклад (таксономия CRediT):

Б.С. Ибраев: концептуализация исследования, разработка методологии, руководство исследованием, анализ результатов, подготовка первоначального варианта рукописи. **М.М. Татиева:** сбор и анализ статистических данных, проведение план-факт анализа, исследование деятельности предприятия, визуализация результатов. **А.С. Петровская:** формальный анализ, интерпретация результатов исследования, разработка практических рекомендаций по совершенствованию операционного управления, подготовка отдельных разделов рукописи. **А.С. Акмаганбетова:** анализ научной литературы, валидация результатов исследования, научное редактирование и критический пересмотр содержания статьи. **А.К. Нургалиева:** проверка достоверности данных, оформление рукописи, рецензирование и подготовка окончательной версии статьи. Все авторы ознакомились с окончательной версией статьи, одобрили её к публикации и несут ответственность за достоверность представленных результатов.

Финансирование. Исследование выполнено без привлечения внешнего финансирования.

Благодарности. Авторы выражают благодарность руководству и специалистам ТОО «Ақбұлақ БОВ» за предоставленные материалы, необходимые для проведения исследования.

Авторское право © 2026 принадлежит автору(ам). Данная статья распространяется на условиях открытого доступа в соответствии с лицензией Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0). Лицензия разрешает свободное использование, распространение и воспроизведение в любой форме при условии обязательного указания авторства и сохранения той же лицензии для производных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Бюро национальной статистики Республики Казахстан, *О выполнении строительных работ и вводе в эксплуатацию объектов в январе–феврале 2025 года*. Астана, Казахстан, 2025. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://stat.gov.kz/ru/> (дата обращения: 22.07.2026).
- [2] Бюро национальной статистики Республики Казахстан, *Инфляция в Республике Казахстан. Социально-экономические показатели 2025 года*. Астана, Казахстан, 2025. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://stat.gov.kz/ru/> (дата обращения: 22.07.2026).
- [3] Национальный Банк Республики Казахстан, *Обзор инфляционных тенденций и инфляционных ожиданий бизнеса и населения*. Аналитический отчет. Астана, Казахстан, 2025. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://nationalbank.kz/ru/news/> (дата обращения: 22.07.2026).
- [4] Министерство национальной экономики Республики Казахстан, *Государственная программа развития регионов Республики Казахстан*. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/> (дата обращения: 22.07.2026).

[5] Акимат Карагандинской области, *Социально-экономическое развитие города Темиртау: статистический и аналитический обзор*. Караганда, Казахстан. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://etemirtau.kz/news/city/> (дата обращения: 22.07.2026).

[6] Бюро национальной статистики Республики Казахстан, *Основные социально-экономические показатели Карагандинской области*. Астана, Казахстан. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://stat.gov.kz/ru/> (дата обращения: 22.07.2026).

[7] OECD, *Productivity in Construction and Infrastructure*. Paris, France: OECD Publishing, 2024. [Online]. Available: <https://www.oecd.org/>. Accessed: Jul. 22, 2026.

[8] N. Slack, A. Brandon-Jones, and N. Burgess, *Operations Management*, 11th ed. Harlow, U.K.: Pearson, 2023.

[9] J. Heizer, B. Render, and C. Munson, *Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management*, 14th ed. Harlow, U.K.: Pearson, 2023.

[10] Государственная база данных Республики Казахстан, *Сведения о регистрации и деятельности ТОО «Ақбұлақ БОВ»*. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ba.prg.kz/> (дата обращения: 22.07.2026).

[11] Y. Li, J. Wang, and X. Chen, "Digital transformation of construction project operations under economic uncertainty," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 150, no. 4, Art. no. 04024018, 2024.

[12] H. Zhang, Y. Liu, and J. Kim, "Operational resilience and supply chain management in construction projects during economic disruption," *International Journal of Project Management*, vol. 43, no. 2, Art. no. 102673, 2025.

REFERENCES

[1] Bureau of National Statistics of the Republic of Kazakhstan, *O vypolnenii stroitel'nykh rabot i vvode v ekspluatatsiyu ob'ektov v yanvare–fevrale 2025 goda* [On construction work performed and commissioning of facilities in January–February 2025]. Astana, Kazakhstan, 2025. [Online]. Available: <https://stat.gov.kz/ru/>. Accessed: Jul. 22, 2026.

[2] Bureau of National Statistics of the Republic of Kazakhstan, *Inflyatsiya v Respublike Kazakhstan. Sotsial'no-ekonomicheskie pokazateli 2025 goda* [Inflation in the Republic of Kazakhstan. Socio-economic indicators for 2025]. Astana, Kazakhstan, 2025. [Online]. Available: <https://stat.gov.kz/ru/>. Accessed: Jul. 22, 2026.

[3] National Bank of the Republic of Kazakhstan, *Obzor inflyatsionnykh tendentsiy i inflyatsionnykh ozhidaniy biznesa i naseleniya* [Review of inflation trends and inflation expectations of businesses and households]. Analytical Report, Astana, Kazakhstan, 2025. [Online]. Available: <https://nationalbank.kz/ru/news/>. Accessed: Jul. 22, 2026.

[4] Ministry of National Economy of the Republic of Kazakhstan, *Gosudarstvennaya programma razvitiya regionov Respubliki Kazakhstan* [State Program for Regional Development of the Republic of Kazakhstan]. [Online]. Available: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/>. Accessed: Jul. 22, 2026.

[5] Akimat of Karaganda Region, *Sotsial'no-ekonomicheskoe razvitie goroda Temirtau: statisticheskiy i analiticheskiy obzor* [Socio-economic development of Temirtau: Statistical and analytical review]. Karaganda, Kazakhstan. [Online]. Available: <https://etemirtau.kz/news/city/>. Accessed: Jul. 22, 2026.

[6] Bureau of National Statistics of the Republic of Kazakhstan, *Osnovnye sotsial'no-ekonomicheskie pokazateli Karagandinskoy oblasti* [Key socio-economic indicators of Karaganda Region]. Astana, Kazakhstan. [Online]. Available: <https://stat.gov.kz/ru/>. Accessed: Jul. 22, 2026.

[7] OECD, *Productivity in Construction and Infrastructure*. Paris, France: OECD Publishing, 2024. [Online]. Available: <https://www.oecd.org/>. Accessed: Jul. 22, 2026.

[8] N. Slack, A. Brandon-Jones, and N. Burgess, *Operations Management*, 11th ed. Harlow, U.K.: Pearson, 2023.

[9] J. Heizer, B. Render, and C. Munson, *Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management*, 14th ed. Harlow, U.K.: Pearson, 2023.

[10] State Database of the Republic of Kazakhstan, *Svedeniya o registratsii i deyatelnosti TОО «Akbulak BOV»* [Registration information and business profile of LLP "Akbulak BOV"]. [Online]. Available: <https://ba.prg.kz/>. Accessed: Jul. 22, 2026.

[11] Y. Li, J. Wang, and X. Chen, "Digital transformation of construction project operations under economic uncertainty," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 150, no. 4, Art. no. 04024018, 2024.

[12] H. Zhang, Y. Liu, and J. Kim, "Operational resilience and supply chain management in construction projects during economic disruption," *International Journal of Project Management*, vol. 43, no. 2, Art. no. 102673, 2025.

ЭКОНОМИКА. ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ, СОЦИАЛЬНО-ГУМАНИТАРНЫЕ И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ДИСЦИПЛИНЫ

DOI: <https://www.doi.org/10.53002/126>

MODERN CHALLENGES AND DIRECTIONS FOR OPTIMIZING THE LEGAL SUPPORT OF CORPORATE GOVERNANCE IN THE MEDICAL SECTOR

^{1*}Aityshev N.B., ¹Kakenov M.A., ¹Tatieva M.M., ¹Akmaganbetova A.S., ²Nurgaliyeva A.K.

¹Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan

²Temirtau Higher Polytechnic College, Temirtau, Kazakhstan

* Corresponding author email: n.ajtyshv@tttu.edu.kz

Author information:

N.B. Aityshev - Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan. E-mail: n.ajtyshv@tttu.edu.kz

M.A. Kakenov - Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan.

M.M. Tatieva - Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan. E-mail: m.tatiyeva@tttu.edu.kz

Akmaganbetova A.S. - Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan. E-mail: a.akmaganbetova@tttu.edu.kz

Nurgaliyeva A.K. - Temirtau Higher Polytechnic College, Temirtau, Kazakhstan. E-mail: assel_n80@inbox.ru

Abstract. The article examines the modern challenges of legal support of corporate governance in the medical sector of the Republic of Kazakhstan on the example of quasi-public sector organizations. The relevance of the study is due to the increasing complexity of the institutional environment, increased requirements for transparency and accountability, as well as the need to improve the efficiency of public health organizations. Based on the analysis of internal regulatory documents, protocols, and decisions of the Supervisory Board, systemic problems of legal regulation have been identified, including the fragmentation of the regulatory framework, insufficient integration of a risk-based approach and conflicts in the field of anti-corruption compliance. The directions of optimizing the legal support of corporate governance aimed at increasing the stability and manageability of medical organizations are substantiated.

Keywords: corporate governance, healthcare, medical sector, legal support, Supervisory Board, compliance, internal audit, risk management, quasi-public sector, efficiency.

МЕДИЦИНАЛЫҚ СЕКТОРДАҒЫ КОРПОРАТИВТІК БАСҚАРУДЫ ҚҰҚЫҚТЫҚ ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУДІ ОҢТАЙЛАНДЫРУДЫҢ ЗАМАНАУИ СЫН-ТЕГЕУРІНДЕРІ МЕН БАҒЫТТАРЫ

^{1*}Айтышев Н.Б., ¹Какенов М.А., ¹Татиева М.М., ¹Акмаганбетова А.С., ²Нурғалиева А.К.

¹Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан

²Теміртау жоғары политехникалық колледжі, Теміртау, Қазақстан

* Автор-корреспондент e-mail: n.ajtyshv@tttu.edu.kz

Авторлар туралы ақпарат:

Айтышев Н.Б., - Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан. E-mail: n.ajtyshv@tttu.edu.kz

Какенов М.А., - Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан. E-mail: m.tatiyeva@tttu.edu.kz

Татиева М.М., - Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан. E-mail: m.tatiyeva@tttu.edu.kz

Акмаганбетова А.С. - Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан. E-mail:

a.akmaganbetova@tttu.edu.kz

Нурғалиева А.К. - Теміртау жоғары политехникалық колледжі, Теміртау, Қазақстан. E-mail: assel_n80@inbox.ru

Аңдатпа. Мақалада квазимемлекеттік сектор ұйымдарының мысалында Қазақстан Республикасының медицина секторындағы корпоративтік басқаруды құқықтық қамтамасыз етудің заманауи сын-қатерлері қарастырылады. Зерттеудің өзектілігі институционалдық ортаның күрделенуіне, ашықтық пен есептілікке қойылатын талаптардың күшеюіне, сондай-ақ мемлекеттік медициналық ұйымдар қызметінің тиімділігін арттыру қажеттілігіне байланысты. Ішкі нормативтік құжаттарды, Бақылау кеңесінің хаттамалары мен шешімдерін талдау

негізінде нормативтік базаның бөлшектенуін, тәуекелге бағдарланған тәсілдің жеткіліксіз интеграциясын және сыбайлас жемқорлыққа қарсы комплаенс саласындағы қайшылықтарды қоса алғанда, құқықтық реттеудің жүйелі мәселелері анықталды. Медициналық ұйымдардың тұрақтылығы мен басқарылуын арттыруға бағытталған корпоративтік басқаруды құқықтық қамтамасыз етуді оңтайландыру бағыттары негізделген.

Түйін сөздер: корпоративтік басқару, денсаулық сақтау, медициналық сектор, құқықтық қамтамасыз ету, Бақылау кеңесі, комплаенс, ішкі аудит, тәуекелдерді басқару, квазимемлекеттік сектор, тиімділік.

СОВРЕМЕННЫЕ ВЫЗОВЫ И НАПРАВЛЕНИЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРАВОВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОРПОРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ В МЕДИЦИНСКОМ СЕКТОРЕ

^{1*}Айтышев Н.Б., ¹Какенов М.А., ¹Татиева М.М., ¹Акмаганбетова А.С., ²Нурғалиева А.К.

¹Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

²Темиртауский высший политехнический колледж Темиртау, Казахстан

* Автор-корреспондент e-mail: n.ajtyshev@tttu.edu.kz

Информация об авторах:

Айтышев Н.Б. - Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан. E-mail: n.ajtyshev@tttu.edu.kz

Какенов М.А. - Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан.

Татиева М.М. - Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан. E-mail: m.tatiyeva@tttu.edu.kz

Акмаганбетова А.С. - Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан. E-mail: a.akmaganbetova@tttu.edu.kz

Нурғалиева А.К. - Темиртауский высший политехнический колледж Темиртау, Казахстан. E-mail: assel_n80@inbox.ru

Аннотация. В статье рассматриваются современные вызовы правового обеспечения корпоративного управления в медицинском секторе Республики Казахстан на примере организаций квазигосударственного сектора. Актуальность исследования обусловлена усложнением институциональной среды, усилением требований к прозрачности и подотчетности, а также необходимостью повышения эффективности деятельности государственных медицинских организаций. На основе анализа внутренних нормативных документов, протоколов и решений Наблюдательного совета выявлены системные проблемы правового регулирования, включая фрагментарность нормативной базы, недостаточную интеграцию риск-ориентированного подхода и коллизии в сфере антикоррупционного комплаенса. Обоснованы направления оптимизации правового обеспечения корпоративного управления, направленные на повышение устойчивости и управляемости медицинских организаций.

Ключевые слова: корпоративное управление, здравоохранение, медицинский сектор, правовое обеспечение, Наблюдательный совет, комплаенс, внутренний аудит, управление рисками, квазигосударственный сектор, эффективность.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Современное корпоративное управление в медицинском секторе требует совершенствования правового обеспечения с учетом принципов прозрачности, подотчетности, риск-ориентированного управления и антикоррупционного комплаенса. Анализ деятельности организаций квазигосударственного сектора Республики Казахстан выявил наличие системных проблем, связанных с фрагментарностью нормативной базы, недостаточной интеграцией механизмов управления рисками и несовершенством

распределения полномочий между органами корпоративного управления. Предложены практические направления оптимизации правового обеспечения корпоративного управления, включающие гармонизацию внутренних нормативных документов с действующим законодательством, институциональное укрепление функций внутреннего аудита и комплаенса, а также нормативное закрепление риск-ориентированного подхода как обязательного элемента стратегического управления. Полученные результаты могут быть

использованы при совершенствовании системы корпоративного управления государственных медицинских организаций и разработке внутренних нормативных документов организаций квазигосударственного сектора.

ВВЕДЕНИЕ

Современный этап развития системы здравоохранения Республики Казахстан характеризуется усложнением институциональной среды, ростом требований к прозрачности и подотчетности деятельности государственных медицинских организаций, а также усилением роли корпоративного управления в обеспечении устойчивости и эффективности их функционирования [1]. Особую значимость данные вопросы приобретают для организаций квазигосударственного сектора, осуществляющих социально значимые функции в сфере санитарно-эпидемиологической безопасности и охраны здоровья населения [5]. В этой связи актуализируется необходимость анализа действующей системы правового обеспечения корпоративного управления и определения направлений ее оптимизации с учетом реальной управленческой практики [2]. Целью данного исследования является выявление определяющих правовых вызовов корпоративного управления в медицинском секторе и разработка направлений его совершенствования на примере РГП на ПХВ «Национальный центр экспертизы» [6].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Методологическую основу исследования формируют институциональный и системный подходы, позволяющие рассматривать корпоративное управление в медицинском секторе как совокупность взаимосвязанных правовых норм, управленческих институтов и практик их реализации в условиях квазигосударственного сектора [1]. Институциональный подход применен для анализа роли и функций Наблюдательного совета, исполнительного органа и контрольных подразделений в контексте действующего законодательства и формальных правил корпоративного управления, тогда как системный подход обеспечил комплексное рассмотрение правового обеспечения корпоративных процессов во взаимосвязи стратегических, контрольных и операционных элементов управления.

В рамках исследования использованы методы правового анализа и толкования норм законодательства Республики Казахстан, что позволило выявить соответствие и расхождения между требованиями публичного права и внутренними нормативными актами организации [3]. Метод контент-анализа применялся при изучении внутренних документов и протоколов заседаний Наблюдательного совета с целью выявления повторяющихся управленческих проблем, базовых тематических блоков повесток заседаний и характерных управленческих решений [6-9]. Сравнительный анализ использован для сопоставления национальной практики корпоративного управления в медицинском секторе с международными рекомендациями и принципами корпоративного управления государственных предприятий [1].

Эмпирической базой исследования послужили внутренние нормативные документы РГП на ПХВ

«Национальный центр экспертизы», включая классификатор внутренних нормативных документов, положения о Наблюдательном совете и его секретаре, планы работы Наблюдательного совета, а также протоколы и решения его заседаний за 2022-2023 годы [6-9]. Указанные материалы отражают реальную практику функционирования органов корпоративного управления и позволяют оценить степень формализации управленческих процедур, распределение полномочий и фактическую нагрузку на органы управления.

Комплексный анализ данных источников позволил не только оценить уровень нормативной регламентации корпоративных процедур, но и выявить устойчивые практические проблемы их применения, связанные с фрагментарностью правового регулирования, ограниченной эффективностью контрольных механизмов и недостаточной интеграцией риск-ориентированного подхода в управленческие решения [3]. Это обеспечило обоснованность выводов исследования и позволило сформулировать практико-ориентированные направления совершенствования правового обеспечения корпоративного управления в медицинском секторе.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенный анализ правового обеспечения корпоративного управления показал, что в медицинском секторе Республики Казахстан сформирована многоуровневая система

внутренних нормативных документов, регламентирующих деятельность органов управления, контрольных и консультативных структур [4]. Данная система охватывает стратегическое планирование, внутренний аудит, управление рисками, кадровую политику, антикоррупционный комплаенс и информационную открытость, что в целом соответствует базовым принципам корпоративного управления государственных предприятий [1].

Значимым элементом правового обеспечения корпоративного управления является классификатор внутренних нормативных документов, который устанавливает иерархию управленческих актов и распределяет полномочия между уполномоченным государственным органом, Наблюдательным советом и исполнительным органом [6]. Формально данная модель обеспечивает институциональную подотчетность руководства предприятия, однако практика применения показывает наличие разрывов между нормативным регулированием и фактической управленческой эффективностью [7].

Одним из наиболее существенных вызовов является фрагментарность правового регулирования функций антикоррупционного комплаенса и внутреннего контроля [3]. Материалы заседаний Наблюдательного совета фиксируют коллизии между внутренними положениями предприятия и требованиями Закона Республики Казахстан «О противодействии коррупции» в части независимости и подотчетности комплаенс-службы [3]. В частности, протокол заседания Наблюдательного совета от 09 декабря 2022 года подтверждает несоответствие статуса комплаенс-службы установленным законодательным требованиям, что указывает на необходимость системной гармонизации внутренних актов с нормами публичного права [8].

Существенным ограничением остается недостаточная интеграция риск-ориентированного подхода в систему корпоративного управления [2]. Несмотря на утверждение карт рисков и планов работы службы внутреннего аудита, выявленные риски зачастую рассматриваются формально и не трансформируются в стратегические управленческие решения [6]. Это снижает превентивный потенциал корпоративного управления и ограничивает возможности своевременного реагирования на финансовые, операционные и репутационные угрозы, что

противоречит современным международным подходам к управлению государственными предприятиями [1].

Дополнительным вызовом является высокая операционная нагрузка на Наблюдательный совет. Анализ протоколов заседаний за 2022 год показывает, что значительная часть повестки дня посвящена текущим и кадровым вопросам, что объективно ограничивает стратегическую и контрольную роль данного органа [8; 9]. Подобная ситуация во многом обусловлена недостаточной нормативной детализацией разграничения стратегических и текущих полномочий между органами управления [4].

С учетом выявленных проблем представляется обоснованным выделить направления оптимизации правового обеспечения корпоративного управления, включающие гармонизацию внутренних нормативных документов с отраслевым и антикоррупционным законодательством [3; 5], институциональное укрепление независимости функций внутреннего аудита и комплаенса [4], а также нормативное закрепление риск-ориентированного подхода как обязательного элемента стратегического и операционного управления [1]. Дополнительно целесообразно перераспределить компетенции между органами управления с целью снижения операционной нагрузки на Наблюдательный совет и усиления его стратегической роли [7]. Полученные результаты согласуются с современными исследованиями, согласно которым эффективное корпоративное управление медицинских организаций основывается на прозрачной системе подотчетности, четком распределении полномочий органов управления и интеграции механизмов контроля и управления рисками [10, 11].

ВЫВОДЫ

Проведенное исследование показывает, что система правового обеспечения корпоративного управления в медицинском секторе Республики Казахстан в целом сформирована и соответствует базовым требованиям законодательства [4]. Вместе с тем ее практическая реализация сопровождается институциональными и правовыми вызовами, связанными с фрагментарностью регулирования, недостаточной зрелостью риск-ориентированных механизмов и перегруженностью Наблюдательного совета текущими вопросами [6;8;9]. Оптимизация правового обеспечения корпоративного управления должна быть

направлена на повышение согласованности внутренних нормативных актов, усиление независимых контрольных функций и развитие стратегической роли органов корпоративного управления. Реализация указанных направлений позволит повысить прозрачность, подотчетность и устойчивость государственных медицинских организаций, выполняющих основные функции в системе санитарно-эпидемиологической безопасности.

Авторский вклад (таксономия CRediT):

Н.Б. Айтышев: концептуализация исследования, разработка методологии, проведение исследования, правовой анализ, интерпретация результатов, написание первоначального варианта рукописи. **М.А. Какенов:** сбор и анализ эмпирических материалов, исследование внутренних нормативных документов, формальный анализ, участие в интерпретации результатов исследования. **М.М. Татиева:** анализ научной литературы, сравнительный анализ международных подходов к корпоративному управлению, визуализация материалов, подготовка отдельных разделов рукописи. **А.С. Акмаганбетова:** валидация результатов исследования, разработка практических рекомендаций, научное редактирование рукописи. **А.К. Нургалиева:** рецензирование и редактирование рукописи, подготовка

окончательной версии статьи, координация процесса публикации. Все авторы ознакомились с окончательной версией статьи, одобрили её к публикации и несут ответственность за достоверность представленных результатов.

Финансирование. Исследование выполнено без привлечения внешнего финансирования.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности. Авторы выражают благодарность Карагандинскому индустриальному университету за организационную и научно-методическую поддержку исследования, а также специалистам медицинских организаций и экспертам в области корпоративного управления, материалы и рекомендации которых способствовали проведению исследования.

Авторское право © 2026 принадлежит автору(ам). Данная статья распространяется на условиях открытого доступа в соответствии с лицензией Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0). Лицензия разрешает свободное использование, распространение и воспроизведение материала в любой форме при условии обязательного указания авторства и сохранения аналогичной лицензии для производных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] OECD Guidelines on Corporate Governance of State-Owned Enterprises. Paris: OECD Publishing, 2015. 74 p. – URL: <https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2015/11/>
- [2] Governance for health equity and sustainable health systems. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2014. 40 p. – URL: <https://sostenibilidadyprogreso.org/files/>
- [3] Закон Республики Казахстан «О противодействии коррупции» от 18 ноября 2015 года № 410-V ЗРК. – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/>
- [4] Закон Республики Казахстан от 1 марта 2011 года № 413-IV «О государственном имуществе». – Астана, 2011. – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/>
- [5] Кодекс Республики Казахстан от 7 июля 2020 г. № 360-VI ЗРК «О здоровье народа и системе здравоохранения». – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/>
- [6] Классификатор внутренних нормативных документов РГП на ПХВ «Национальный центр экспертизы». Протокол Наблюдательного совета от 01.11.2019 № 1. – URL: <https://nce.kz/ru/>
- [7] Приказ Председателя Комитета контроля качества и безопасности товаров и услуг Министерства здравоохранения Республики Казахстан от 24.07.2019 № 155-НҚ. – URL: <https://nce.kz/ru/>
- [8] Протокол заседания Наблюдательного совета РГП на ПХВ «Национальный центр экспертизы» от 09.12.2022 № 33. – URL: <https://nce.kz/ru/>
- [9] Протокол заседания Наблюдательного совета РГП на ПХВ «Национальный центр экспертизы» от 31.08.2022 № 31. – URL: <https://nce.kz/ru/>
- [10] Отчет о проделанной работе секретаря Наблюдательного совета РГП на ПХВ «Национальный центр экспертизы» за 2023 год. – URL: <https://nce.kz/ru/>
- [11] Jalilvand, M. A., Raeisi, A. R., & Shaarbafchizadeh, N. Hospital governance accountability structure: A scoping review // *BMC Health Services Research*. – 2024. – Vol. 24. – Art. 47. – DOI: 10.1186/s12913-023-10135-0.

REFERENCES

- [1] OECD, *OECD Guidelines on Corporate Governance of State-Owned Enterprises*. Paris, France: OECD Publishing, 2015. 74 p. [Online]. Available: <https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2015/11/>
- [2] World Health Organization Regional Office for Europe, *Governance for Health Equity and Sustainable Health Systems*. Copenhagen, Denmark: WHO Regional Office for Europe, 2014. 40 p. [Online]. Available: <https://sostenibilidadyprogreso.org/files/>
- [3] Zakon Respubliki Kazakhstan «O protivodeystvii korruptsii» [Law of the Republic of Kazakhstan "On Combating Corruption"], No. 410-V ZRK, Nov. 18, 2015. [Online]. Available: <https://adilet.zan.kz/rus/> (In Russian).
- [4] Zakon Respubliki Kazakhstan «O gosudarstvennom imushchestve» [Law of the Republic of Kazakhstan "On State Property"], No. 413-IV, Mar. 1, 2011. Astana, Kazakhstan, 2011. [Online]. Available: <https://adilet.zan.kz/rus/> (In Russian).
- [5] Kodeks Respubliki Kazakhstan «O zdorovye naroda i sisteme zdravookhraneniya» [Code of the Republic of Kazakhstan "On Public Health and Healthcare System"], No. 360-VI ZRK, Jul. 7, 2020. [Online]. Available: <https://adilet.zan.kz/rus/> (In Russian).
- [6] Klassifikator vnutrennikh normativnykh dokumentov RGP na PKhV «Natsional'nyy tsentr ekspertizy» [Classifier of Internal Regulatory Documents of the National Center of Expertise]. Minutes of the Supervisory Board Meeting No. 1, Nov. 1, 2019. [Online]. Available: <https://nce.kz/ru/> (In Russian).
- [7] Prikaz Predsedatelya Komiteta kontrolya kachestva i bezopasnosti tovarov i uslug Ministerstva zdravookhraneniya Respubliki Kazakhstan No. 155-NQ [Order of the Chairman of the Committee for Quality Control and Safety of Goods and Services of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan No. 155-NQ], Jul. 24, 2019. [Online]. Available: <https://nce.kz/ru/> (In Russian).
- [8] Protokol zasedaniya Nablyudatel'nogo soveta RGP na PKhV «Natsional'nyy tsentr ekspertizy» [Minutes of the Supervisory Board Meeting of the National Center of Expertise], No. 33, Dec. 9, 2022. [Online]. Available: <https://nce.kz/ru/> (In Russian).
- [9] Protokol zasedaniya Nablyudatel'nogo soveta RGP na PKhV «Natsional'nyy tsentr ekspertizy» [Minutes of the Supervisory Board Meeting of the National Center of Expertise], No. 31, Aug. 31, 2022. [Online]. Available: <https://nce.kz/ru/> (In Russian).
- [10] Otchet o prodelannoy rabote sekretarya Nablyudatel'nogo soveta RGP na PKhV «Natsional'nyy tsentr ekspertizy» za 2023 god [Annual Report of the Secretary of the Supervisory Board of the National Center of Expertise for 2023]. [Online]. Available: <https://nce.kz/ru/> (In Russian).
- [11] M. A. Jalilvand, A. R. Raeisi, and N. Shaarbafchizadeh, "Hospital governance accountability structure: A scoping review," *BMC Health Services Research*, vol. 24, Art. no. 47, 2024. doi: 10.1186/s12913-023-10135-0.

ЭКОНОМИКА. ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ, СОЦИАЛЬНО-ГУМАНИТАРНЫЕ И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ДИСЦИПЛИНЫ

DOI: <https://www.doi.org/10.53002/127>

IMPROVEMENT OF ORGANIZATIONAL AND MANAGERIAL MECHANISMS FOR DEALING WITH PROBLEMATIC DEBTS OF INDIVIDUALS IN COMMERCIAL BANKS: APPLIED ASPECTS AND RECOMMENDATIONS

¹Tagai A.A., ^{1*}Silayeva O.V., ¹M.M. Tatueva, ¹Akmaganbetova A.S., ²Nurgaliyeva A.K.

¹Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan

²Temirtau Higher Polytechnic College, Temirtau, Kazakhstan

* Corresponding author email: o.silayeva@tttu.edu.kz

Author information:

Tagai A.A., -Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan.

Silayeva O.V., - Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan. E-mail: o.silayeva@tttu.edu.kz

M.M. Tatueva - Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan. E-mail: m.tatiyeva@tttu.edu.kz

Akmaganbetova A.S. - Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan. E-mail: a.akmaganbetova@tttu.edu.kz

Nurgaliyeva A.K. - Temirtau Higher Polytechnic College, Temirtau, Kazakhstan. E-mail: assel_n80@inbox.ru

Abstract. The article is devoted to the analysis and improvement of organizational and managerial mechanisms for dealing with problematic debts of individuals in commercial banks in the context of growing retail lending and increasing debt burden of the population. The article examines current trends in the quality of retail loan portfolios and their impact on the financial stability of banks. The practical part of the study is based on an analysis of the activities of ForteBank JSC, with an emphasis on the dynamics of key loan portfolio quality indicators, the results of recovery of distressed assets, as well as the use of debt restructuring and government refinancing tools. The results obtained indicate a decrease in the share of credit-impaired loans against the background of steady growth in retail lending and a steady excess of actual foreclosures over planned targets. It is proved that the integrated application of risk-oriented, organizational and digital solutions makes it possible to increase the effectiveness of working with problem debts, balance the interests of the bank and borrowers, and strengthen the financial stability of commercial banks in an unstable economic environment.

Keywords: problem debt. individuals. commercial banks. retail lending. the quality of the loan portfolio. credit risks. debt collection. loan restructuring. government refinancing. financial stability of banks.

КОММЕРЦИЯЛЫҚ БАНКТЕРДЕ ЖЕКЕ ТҮЛҒАЛАРДЫҢ ПРОБЛЕМАЛЫҚ БЕРЕШЕГІМЕН ЖҰМЫС ІСТЕУДІҢ ҰЙЫМДАСТЫРУШЫЛЫҚ-БАСҚАРУШЫЛЫҚ ТЕТІКТЕРІН ЖЕТІЛДІРУ: ҚОЛДАНБАЛЫ АСПЕКТІЛЕР МЕН ҰСЫНЫМДАР

¹Тағай А.А., ^{1*}Силаева О.В., ¹Татиева М.М., ¹Акмаганбетова А.С., ²Нурғалиева А.К.

¹Қарағанды индустриалды университеті, Теміртау, Қазақстан

²Теміртау жоғары политехникалық колледжі, Теміртау, Қазақстан

* Автор-корреспондент e-mail: o.silayeva@tttu.edu.kz

Авторлар туралы ақпарат:

Тағай А.А. - Қарағанды индустриалды университеті, Теміртау, Қазақстан.

Силаева О.В. - Қарағанды индустриалды университеті, Теміртау, Қазақстан. E-mail: o.silayeva@tttu.edu.kz

Татиева М.М., - Қарағанды индустриалды университеті, Теміртау, Қазақстан. E-mail: m.tatiyeva@tttu.edu.kz

Акмаганбетова А.С. - Қарағанды индустриалды университеті, Теміртау, Қазақстан. E-mail: a.akmaganbetova@tttu.edu.kz

Нурғалиева А.К. - Теміртау жоғары политехникалық колледжі, Теміртау, Қазақстан. E-mail: assel_n80@inbox.ru

Аңдатпа. Мақала халықтың бөлшек кредиттеудің өсуі және борыштық жүктеменің артуы жағдайында коммерциялық банктерде жеке тұлғалардың проблемалық берешегімен жұмыс істеудің ұйымдастырушылық-басқарушылық тетіктерін талдауға және жетілдіруге арналған. Бөлшек кредиттік портфельдердің сапасының өзгеруіндегі қазіргі заманғы үрдістер және олардың банктердің қаржылық тұрақтылығына әсері қарастырылады. Зерттеудің практикалық бөлімі «ForteBank» АҚ қызметін талдауға негізделген, мұнда қарыз портфелінің сапасының негізгі көрсеткіштерінің динамикасына, проблемалық активтерді өндіріп алу нәтижелеріне, сондай-ақ қарыздарды қайта құрылымдау және мемлекеттік қайта қаржыландыру құралдарын қолдануға баса назар аударылады. Алынған нәтижелер бөлшек кредиттеудің тұрақты өсуі аясында кредиттік құнсызданған қарыздар үлесінің төмендегенін және өндіріп алудың нақты көлемдерінің жоспарлы көрсеткіштерден тұрақты түрде асып отырғанын көрсетеді. Тәуекелге бағдарланған, ұйымдастырушылық және цифрлық шешімдерді кешенді түрде қолдану проблемалық берешекпен жұмыс істеудің нәтижелілігін арттыруға, банк пен қарыз алушылардың мүдделерін теңестіруге және экономикалық ортаның тұрақсыздығы жағдайында коммерциялық банктердің қаржылық тұрақтылығын нығайтуға ықпал ететіні негізделді.

Түйін сөздер: проблемалық берешек. жеке тұлғалар. коммерциялық банктер. бөлшек кредиттеу. кредиттік портфель сапасы. кредиттік тәуекелдер. берешекті өндіріп алу. қарыздарды қайта құрылымдау. мемлекеттік қайта қаржыландыру. банктердің қаржылық тұрақтылығы.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-УПРАВЛЕНЧЕСКИХ МЕХАНИЗМОВ РАБОТЫ С ПРОБЛЕМНОЙ ЗАДОЛЖЕННОСТЬЮ ФИЗИЧЕСКИХ ЛИЦ В КОММЕРЧЕСКИХ БАНКАХ: ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

¹Тағай А.А., ^{1*}Силаева О.В., ¹Татиева М.М., ¹Акмаганбетова А.С., ²Нурғалиева А.К.

¹Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

²Темиртауский высший политехнический колледж, Темиртау, Казахстан

* Автор-корреспондент e-mail: o.silayeva@tttu.edu.kz

Информация об авторах:

Тағай А.А. - Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан.

Силаева О.В. - Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан. E-mail: o.silayeva@tttu.edu.kz

Татиева М.М. - Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан. E-mail: m.tatiyeva@tttu.edu.kz

Акмаганбетова А.С. - Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан. E-mail: a.akmaganbetova@tttu.edu.kz

Нурғалиева А.К. - Темиртауский высший политехнический колледж Темиртау, Казахстан. E-mail: assel_n80@inbox.ru

Аннотация. Статья посвящена анализу и совершенствованию организационно-управленческих механизмов работы с проблемной задолженностью физических лиц в коммерческих банках в условиях роста розничного кредитования и повышения долговой нагрузки населения. Рассматриваются современные тенденции изменения качества розничных кредитных портфелей и их влияние на финансовую устойчивость банков. Практическая часть исследования основана на анализе деятельности АО «ForteBank» с акцентом на динамику ключевых показателей качества ссудного портфеля, результаты взыскания проблемных активов, а также использование инструментов реструктуризации и государственного рефинансирования задолженности. Полученные результаты свидетельствуют о снижении доли кредитно-обесцененных займов на фоне устойчивого роста розничного кредитования и стабильного превышения фактических объемов взыскания над плановыми показателями. Обосновано, что комплексное применение риск-ориентированных, организационных и цифровых решений позволяет повысить результативность работы с проблемной задолженностью, сбалансировать интересы банка и заемщиков и способствует укреплению финансовой устойчивости коммерческих банков в условиях нестабильной экономической среды.

Ключевые слова: проблемная задолженность. физические лица. коммерческие банки. розничное кредитование. качество кредитного портфеля. кредитные риски. взыскание задолженности. реструктуризация займов. государственное рефинансирование. финансовая устойчивость банков.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Проведен анализ современных организационно-управленческих механизмов работы с проблемной задолженностью физических лиц в коммерческих банках Республики Казахстан в условиях роста розничного кредитования и повышения долговой нагрузки населения. Выполнена комплексная оценка динамики качества кредитного портфеля АО «ForteBank» за 2022–2024 годы с использованием показателей кредитно-обесцененных займов, уровня резервирования, объемов взыскания проблемной задолженности и результатов реализации программ рефинансирования. Обоснованы практические рекомендации по совершенствованию системы управления проблемной задолженностью, основанные на риск-ориентированном подходе, развитии организационных механизмов, цифровизации процессов взыскания и расширении инструментов реструктуризации, направленные на повышение финансовой устойчивости коммерческих банков.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях устойчивого расширения розничного кредитования, сопровождающегося ростом долговой нагрузки населения, управление проблемной задолженностью физических лиц приобретает статус одного из приоритетных направлений современного банковского менеджмента [1], [2].

Усиление потребительского и ипотечного кредитования, с одной стороны, способствует росту доходности банков, с другой – повышает чувствительность кредитных портфелей к макроэкономическим колебаниям, снижению платежеспособности заемщиков и росту кредитных рисков [7].

В таких условиях просроченная задолженность становится ключевым фактором, оказывающим прямое влияние на качество кредитного портфеля, объем формируемых провизий, величину чистой прибыли, показатели достаточности капитала и, в более широком контексте, на финансовую устойчивость банковской системы в целом [1].

Особую актуальность данная проблематика приобретает для банков второго уровня, ориентированных на массовый розничный сегмент, где даже незначительное ухудшение платежной дисциплины может привести к существенному росту проблемных активов [2].

В этой связи возрастает роль системного и риск-ориентированного подхода к управлению

проблемной задолженностью, включающего раннюю диагностику кредитных рисков, применение инструментов реструктуризации, а также эффективные механизмы взыскания задолженности [7], [8].

Научно-практическую значимость в данном контексте представляет анализ деятельности конкретных коммерческих банков, демонстрирующих способность адаптироваться к указанным вызовам и формировать устойчивые модели управления кредитными рисками [3], [4].

Изучение практического опыта таких банков позволяет не только выявить эффективные управленческие решения в сфере работы с проблемной задолженностью, но и сформировать обоснованные рекомендации для совершенствования банковской практики в условиях нестабильной экономической среды [1], [2].

Научная новизна. Научная новизна исследования заключается в комплексной оценке организационно-управленческих механизмов работы с проблемной задолженностью физических лиц на основе анализа практической деятельности АО «ForteBank». В отличие от существующих исследований, основное внимание уделено взаимосвязи между динамикой качества кредитного портфеля, результативностью взыскания проблемной задолженности, применением механизмов реструктуризации и государственного рефинансирования, а также их влиянием на финансовую устойчивость коммерческого банка. На основе полученных результатов разработаны практические рекомендации по совершенствованию системы управления проблемной задолженностью в условиях цифровизации банковской деятельности и роста кредитных рисков.

Исследовательский пробел. Несмотря на значительное количество исследований, посвященных управлению кредитными рисками и проблемной задолженностью, большинство из них рассматривает преимущественно макроэкономические факторы формирования неработающих кредитов либо отдельные финансовые показатели банков. Недостаточно изученными остаются вопросы комплексной оценки организационно-управленческих механизмов работы с проблемной задолженностью на уровне отдельных коммерческих банков Республики Казахстан,

включая взаимосвязь между качеством кредитного портфеля, эффективностью взыскания, инструментами реструктуризации и государственными программами рефинансирования. Кроме того, ограниченное внимание уделяется разработке прикладных рекомендаций, направленных на повышение эффективности управления проблемной задолженностью в современных условиях цифровой трансформации банковского сектора.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материальной базой исследования послужили годовые отчеты АО «ForteBank» за 2023 и 2024 годы, содержащие сведения о структуре розничного кредитного портфеля, уровне просроченной задолженности и применяемых инструментах управления кредитными рисками [3], [4].

В исследовании использованы положения по работе с проблемными займами в розничном кредитовании от 8 февраля 2010 года, а также по корпоративному кредитованию и малому и среднему бизнесу от 30 января 2012 года, регламентирующие процедуры взыскания и реструктуризации задолженности [5], [6].

Эмпирическую основу составили данные годовых отчетов АО «ForteBank» за 2023 и 2024 годы, отражающие показатели работы с проблемной задолженностью и качества кредитного портфеля [3], [4].

Методологически применялись анализ внутренних нормативных документов и сопоставление плановых и фактических показателей, что позволило обосновать необходимость оценки не только объемов взыскания, но и динамики качественных параметров кредитного портфеля [2], [7].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В качестве объекта прикладного анализа в настоящем исследовании рассматривается АО «ForteBank», являющееся одним из значимых участников финансовой системы Республики Казахстан [3], [4].

Банк предоставляет широкий спектр финансовых услуг и последовательно адаптируется к изменениям внешней и внутренней среды, внедряя цифровые и управленческие решения [3].

В 2023 году АО «ForteBank» продолжил работу по улучшению качества текущего ссудного портфеля, а также по трансформации в ликвидные активы Банка неработающих активов портфеля Heritage, включающего в себя

проблемные займы, которые перешли к Forte от АО «Альянс Банк» и АО «Темірбанк».

Развитая региональная сеть и сформированная экосистема обслуживания обеспечивают устойчивые рыночные позиции и стабильную клиентскую базу [4].

Результаты анализа годовых отчетов АО «ForteBank» за 2023 и 2024 годы свидетельствуют об устойчивом росте розничного кредитного портфеля при одновременном снижении доли кредитов с просрочкой свыше 90 дней, что указывает на повышение результативности применяемых организационно-управленческих механизмов и эффективности системы риск-менеджмента Банка [1], [2], [3].

Практическая работа с проблемной задолженностью осуществляется в соответствии с внутренними нормативными документами Банка, регламентирующими процедуры взыскания и реструктуризации обязательств заемщиков [5], [6].

Эффективность применяемых инструментов подтверждается фактическими результатами деятельности Банка. Так, объем погашения проблемной задолженности в 2024 году составил 21,3 млрд тенге при плановом показателе 15,7 млрд тенге, что свидетельствует о перевыполнении установленных целевых ориентиров. В целом суммарный объем взыскания проблемной задолженности за период 2014-2024 годов достиг 421 млрд тенге, что отражает накопленный практический опыт ForteBank и устойчивость реализуемой модели управления проблемными активами. Вместе с тем для более глубокой и объективной оценки результативности данных управленческих решений недостаточно анализа только итоговых показателей взыскания, что обуславливает необходимость обращения к динамике качественных параметров кредитного портфеля [3], [4].

В этой связи для комплексной оценки результативности управления кредитным портфелем и проблемной задолженностью в АО «ForteBank» целесообразно проанализировать динамику основных показателей качества ссудного портфеля в разрезе 2022-2024 годов. Представленные данные в таблице

1 позволяют проследить взаимосвязь между ростом объемов кредитования, изменением доли кредитно-обесцененных займов и уровнем резервирования, что является важным индикатором эффективности применяемых организационно-управленческих механизмов.

Таблица 1 - Динамика качества ссудного портфеля АО «ForteBank»

Показатель	1 января 2022	1 января 2023	1 января 2024
Ссудный портфель, млрд тенге	847,1	1 238,6	1 467,8
Кредитно-обесцененные займы, млрд тенге	111,6	107,9	97,2
Доля кредитно-обесцененных займов в ссудном портфеле	13,2%	8,7%	6,6%
Провизии по ссудному портфелю, млрд тенге	38,2	65,1	90,3
Покрытие провизиями кредитного портфеля	4,5%	5,3%	6,1%

Анализ динамики качества ссудного портфеля показывает снижение доли кредитно-обесцененных займов и рост уровня покрытия провизиями на фоне увеличения объемов кредитования, что свидетельствует об усилении риск-ориентированного подхода и повышении качества оценки заемщиков [1], [2], [7].

В условиях реализации государственной политики по снижению долговой нагрузки населения особое значение приобретает использование механизмов рефинансирования проблемной задолженности, эффективность которых подтверждается сокращением совокупного объема основного долга после

применения мер государственной поддержки [1], [2], [9], [10], [11], [12], [13].

Для оценки практической результативности системы управления проблемной задолженностью в АО «ForteBank» целесообразно проанализировать соотношение плановых и фактических показателей взыскания проблемных активов. Данные таблицы 2 отражают динамику выполнения установленных целевых ориентиров по взысканию проблемной задолженности за 2022-2024 годы и позволяют охарактеризовать эффективность применяемых организационно-управленческих инструментов.

Таблица 2 - Взыскание проблемной задолженности

Период	План, млрд тенге	Факт, млрд тенге
2022	10	23,8
2023	10	22,7
2024	15,7	21,3

*Примечание. Информация получена из годового отчета АО «ForteBank» за 2024 год.

Представленные данные в таблице 2 свидетельствуют о стабильном превышении фактических объемов взыскания проблемной задолженности над плановыми показателями на протяжении всего анализируемого периода. Данная тенденция указывает на высокую результативность процедур взыскания, адекватность используемых методов работы с проблемными заемщиками и накопленный практический опыт Банка в сфере управления проблемными активами.

В условиях реализации государственной политики по снижению долговой нагрузки населения особое значение приобретает анализ механизмов рефинансирования проблемной задолженности. Представленные данные отражают результаты участия заемщиков АО «ForteBank» в государственной программе рефинансирования в 2024 году и позволяют оценить масштабы охвата, структуру пулов займов, а также изменение объема основного долга до и после проведения реструктуризационных мероприятий [3-6].

Таблица 3 - Рефинансирование проблемной задолженности в рамках государственной программы в 2024 году млрд тенге

Пул	Количество займов	Основной долг на момент рефинансирования	Основной долг после рефинансирования
Всего, в том числе	433	5,74	2,39
Рефинансирование	190	2,23	2,39
ГП тенге	130	1,34	1,42
ГП валюта	60	0,89	0,97
Оказание доп. помощи	243	3,50	–

Анализ показателей рефинансирования проблемной задолженности в рамках государственной программы в 2024 году свидетельствует о существенном снижении совокупного объема основного долга после применения мер поддержки. Это указывает на социально-экономическую направленность программы и ее практическую результативность как для заемщиков, так и для банка. Полученные результаты подтверждают значимость государственных инструментов рефинансирования в системе управления проблемными активами и формируют основу для дальнейшего совершенствования механизмов взаимодействия банковского сектора и государства [1], [4].

ВЫВОДЫ

На основании проведенного анализа динамики качества кредитного портфеля, результатов взыскания и применения инструментов реструктуризации и рефинансирования проблемной задолженности становится очевидным, что достигнутые положительные показатели в деятельности коммерческих банков во многом обусловлены действующими организационно-управленческими механизмами.

Вместе с тем сохраняющиеся риски роста долговой нагрузки населения, высокая чувствительность розничного портфеля к макроэкономическим колебаниям и усложнение требований к управлению кредитными рисками объективно требуют не только сохранения сложившейся практики, но и ее дальнейшего системного развития.

В этой связи представляется целесообразным перейти от анализа результатов к формированию прикладных мероприятий и рекомендаций, направленных на совершенствование организационно-управленческих механизмов работы с проблемной задолженностью физических лиц.

Мероприятия и рекомендации по совершенствованию организационно-управленческих механизмов работы с проблемной задолженностью физических лиц в коммерческих банках должны носить комплексный и превентивный характер. В первую очередь целесообразно усилить систему ранней диагностики кредитных рисков за счет более глубокого использования поведенческого скоринга и регулярного мониторинга платежной дисциплины заемщиков. Это позволяет выявлять потенциальную проблемную задолженность на докризисной стадии и снижать вероятность формирования устойчивой просрочки.

Важным направлением является развитие организационной модели управления проблемной задолженностью, предусматривающей четкое разграничение функций между подразделениями, ответственными за превентивный контроль, реструктуризацию и взыскание. При этом показатели эффективности работы данных подразделений целесообразно ориентировать не только на объемы взыскания, но и на улучшение качественных параметров кредитного портфеля, включая снижение доли кредитно-обесцененных займов и рост уровня покрытия провизиями.

Отдельного внимания требует расширение применения инструментов реструктуризации задолженности с учетом финансового положения заемщиков и социально-экономических факторов. Использование гибких графиков погашения, изменение условий кредитования и активное участие в государственных программах рефинансирования позволяют одновременно снизить нагрузку на заемщиков и повысить возвратность проблемных займов, сохраняя клиентскую базу банка.

Дополнительным фактором повышения эффективности является цифровизация процессов работы с проблемной задолженностью, включая автоматизацию коммуникаций с заемщиками, использование аналитических панелей и

интеграцию цифровых каналов взаимодействия. Это способствует снижению операционных издержек, повышению прозрачности процедур и оперативности управленческих решений.

В совокупности реализация указанных мероприятий и рекомендаций обеспечивает переход к более устойчивой и риск-ориентированной модели управления проблемной задолженностью физических лиц, способствует укреплению финансовой устойчивости коммерческих банков и повышает их адаптивность к условиям нестабильной экономической среды.

Авторский вклад (таксономия CRediT):

Тагай А.А. – концепция исследования, сбор и анализ данных, подготовка первоначального варианта рукописи. **Силаева О.В.** – разработка методологии исследования, научное руководство, проверка результатов, редактирование рукописи. **Татиева М.М.** – обработка и интерпретация данных, подготовка таблиц и аналитических материалов. **Акмаганбетова А.С.** – участие в проведении исследования, анализ результатов, редактирование и подготовка окончательной версии статьи. **Нургалиева А.К.** – анализ научной литературы, проверка содержания статьи, языковое и техническое редактирование. Все

авторы ознакомились с окончательной версией рукописи, одобрили ее содержание и согласны с публикацией.

Финансирование. Исследование выполнено без привлечения внешнего финансирования.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности. Авторы выражают благодарность АО «ForteBank» за предоставленные открытые аналитические материалы и годовые отчеты, использованные при подготовке настоящего исследования. Авторы также благодарят коллег Карагандинского индустриального университета за конструктивное обсуждение результатов исследования и экспертную поддержку.

Авторское право © 2026 принадлежит автору(ам). Данная статья распространяется на условиях открытого доступа в соответствии с лицензией Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0). Лицензия разрешает свободное использование, распространение и воспроизведение материала в любой форме при условии обязательного указания авторства и сохранения аналогичной лицензии для производных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Национальный Банк Республики Казахстан. Годовой отчет и обзор финансовой стабильности банковского сектора Республики Казахстан. Официальные аналитические материалы. Астана. – URL: <https://nationalbank.kz/ru/>.
- [2] Агентство Республики Казахстан по регулированию и развитию финансового рынка. Отчет о состоянии банковского сектора Республики Казахстан. Астана. – URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/ardfm>.
- [3] АО «ForteBank». Годовой отчет за 2023 год. Финансовая и управленческая отчетность. Алматы. – URL: <https://forte.kz/>
- [4] АО «ForteBank». Годовой отчет за 2024 год. Финансовая и управленческая отчетность. Алматы. – URL: <https://forte.kz/>
- [5] АО «ForteBank». Положение по работе с проблемными займами по розничному кредитованию от 8 февраля 2010 года. Внутренний нормативный документ. – URL: <https://forte.kz/>
- [6] АО «ForteBank». Положение по работе с проблемными займами по корпоративному кредитованию и малому и среднему бизнесу от 30 января 2012 года. Внутренний нормативный документ. – URL: <https://forte.kz/>
- [7] Basel Committee on Banking Supervision. Principles for the Management of Credit Risk. Bank for International Settlements. Basel. – URL: <https://www.bis.org/>.
- [8] OECD. Financial Consumer Protection and Credit Risk Management. OECD Publishing. Paris. URL: <https://www.oecd.org/>.
- [9] Закон Республики Казахстан «О банках и банковской деятельности в Республике Казахстан». Действующая редакция. –URL: <https://adilet.zan.kz/rus/>.
- [10] Государственная программа рефинансирования ипотечных и проблемных займов населения Республики Казахстан. Официальные материалы уполномоченных органов. – URL: <https://www.gov.kz/>.
- [11] Marquez, J. Stylized Facts of the FOMC's Longer-Run Forecasts. J. Risk Financial Manag. 2023, 16, 152. <https://doi.org/10.3390/jrfm16030152>
- [12] European Banking Authority. Report on the Management and Supervision of ESG Risks for Credit Institutions and Investment Firms. Paris, 2024. – URL: <https://www.eba.europa>.
- [13] World Bank. Global Economic Prospects. Washington, DC: World Bank, 2025. – URL: <https://www.worldbank.org>

REFERENCES

- [1] Natsional'nyy Bank Respubliki Kazakhstan [National Bank of the Republic of Kazakhstan], *Annual Report and Financial Stability Review of the Banking Sector of the Republic of Kazakhstan*. Astana, Kazakhstan. [Online]. Available: <https://nationalbank.kz/ru/> (In Russian).
- [2] Agentstvo Respubliki Kazakhstan po regulirovaniyu i razvitiyu finansovogo rynka [Agency of the Republic of Kazakhstan for Regulation and Development of the Financial Market], *Report on the State of the Banking Sector of the Republic of Kazakhstan*. Astana, Kazakhstan. [Online]. Available: <https://www.gov.kz/memleket/entities/ardfm> (In Russian).
- [3] ForteBank JSC, *Annual Report 2023: Financial and Management Reporting*. Almaty, Kazakhstan. [Online]. Available: <https://forte.kz/>
- [4] ForteBank JSC, *Annual Report 2024: Financial and Management Reporting*. Almaty, Kazakhstan. [Online]. Available: <https://forte.kz/>
- [5] ForteBank JSC, *Regulations on the Management of Problem Loans in Retail Lending*, Feb. 8, 2010. Internal regulatory document. [Online]. Available: <https://forte.kz/>
- [6] ForteBank JSC, *Regulations on the Management of Problem Loans in Corporate Lending and Small and Medium-Sized Business*, Jan. 30, 2012. Internal regulatory document. [Online]. Available: <https://forte.kz/>
- [7] Basel Committee on Banking Supervision, *Principles for the Management of Credit Risk*. Basel, Switzerland: Bank for International Settlements. [Online]. Available: <https://www.bis.org/>
- [8] OECD, *Financial Consumer Protection and Credit Risk Management*. Paris, France: OECD Publishing. [Online]. Available: <https://www.oecd.org/>
- [9] Zakon Respubliki Kazakhstan «O bankakh i bankovskoy deyatel'nosti v Respublike Kazakhstan» [Law of the Republic of Kazakhstan "On Banks and Banking Activities in the Republic of Kazakhstan"]. Current edition. [Online]. Available: <https://adilet.zan.kz/rus/> (In Russian).
- [10] Gosudarstvennaya programma refinansirovaniya ipotechnykh i problemnykh zaymov naseleniya Respubliki Kazakhstan [State Program for Refinancing Mortgage and Problem Loans of the Population of the Republic of Kazakhstan]. Official materials of the authorized state bodies. [Online]. Available: <https://www.gov.kz/> (In Russian).
- [11] Marquez, J. "Stylized Facts of the FOMC's Longer-Run Forecasts," *Journal of Risk and Financial Management*, vol. 16, no. 3, Art. no. 152, 2023. doi:10.3390/jrfm16030152.
- [12] European Banking Authority. *Report on the Management and Supervision of ESG Risks for Credit Institutions and Investment Firms*. Paris, 2024. – URL: <https://www.eba.europa.eu>
- [13] World Bank. *Global Economic Prospects*. Washington, DC: World Bank, 2025. – URL: <https://www.worldbank.org>

ЭКОНОМИКА. ЖАЛПЫ БІЛІМ БЕРУ, ӘЛЕУМЕТТІК ҒЫЛЫМДАР, ГУМАНИТАРЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР ЖӘНЕ ІРГЕЛІ ПӘНДЕР.

DOI: <https://www.doi.org/10.53002/128>

SCIENTIFIC FOUNDATIONS FOR ENSURING THE PROPER FORMATION OF THE MUSCULOSKELETAL SYSTEM IN CHILDREN AND ADOLESCENTS

^{1*}Darybayev B., ²Sarsenkhankey T., ²Toleukhan A.T., ²Zhumabek O.

¹Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan

²S. Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

* Corresponding author email: d.b.28051976@gmail.com

Author information:

Darybayev A. - Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan. E-mail: d.b.28051976@gmail.com

Sarsenkhankey A.T. - S. Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan. E-mail: s.tannur1997@gmail.com

Toleukhan A.T. - S. Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan E-mail: amanbol.toleukhan@gmail.com

Zhumabek O. S. Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan E-mail: omirbek-00@bk.ru

Abstract. The article considers the scientific foundations of ensuring the proper formation of the musculoskeletal system in children and adolescents. The morphofunctional development of the musculoskeletal system during growth and development directly affects the overall health of the body. Biological, physiological and social factors contributing to the formation of the musculoskeletal system are analyzed.

Keywords: children, adolescents, musculoskeletal system, morphofunctional development, growth and development, health, scientific foundations, biological factors, physiological factors, social factors, body development, prevention.

БАЛАЛАР МЕН ЖАСӨСПІРІМДЕРДЕ ТІРЕК-ҚИМЫЛ ЖҮЙЕСІНІҢ ДҰРЫС ҚАЛЫПТАСУЫН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУДІҢ ҒЫЛЫМИ НЕГІЗДЕРІ

^{1*}Дарыбаев Б., ²Сәрсенханқызы Т., ²Төлеухан А.Т., ²Жұмабек Ө.

¹Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан

²С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Өскемен, Қазақстан

* Автор-корреспондент e-mail: d.b.28051976@gmail.com

Авторлар туралы ақпарат:

Дарыбаев Б. - Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан. E-mail: d.b.28051976@gmail.com

Сәрсенханқызы Т. - С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Өскемен, Қазақстан. E-mail: s.tannur1997@gmail.com

Төлеухан А.Т. - С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Өскемен, Қазақстан. E-mail: amanbol.toleukhan@gmail.com

Жұмабек Ө. - С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Өскемен, Қазақстан. E-mail: omirbek-00@bk.ru

Аңдатпа. Мақалада балалар мен жасөспірімдерде тірек-қимыл жүйесінің дұрыс қалыптасуын қамтамасыз етудің ғылыми негіздері қарастырылады. Өсу мен даму кезеңінде сүйек-бұлшықет жүйесінің морфофункционалдық жетілуі ағзаның жалпы денсаулығына тікелей әсер етеді. Тірек-қимыл жүйесінің қалыптасуына ықпал ететін биологиялық, физиологиялық және әлеуметтік факторлар талданады.

Түйін сөздер: балалар, жасөспірімдер, тірек-қимыл жүйесі, сүйек-бұлшықет жүйесі, морфофункционалдық жетілу, өсу және даму, денсаулық, ғылыми негіздер, биологиялық факторлар, физиологиялық факторлар, әлеуметтік факторлар, ағзаның дамуы, профилактика.

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРАВИЛЬНОГО ФОРМИРОВАНИЯ ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА У ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ

^{1*}Дарыбаев Б., ²Сәрсенханқызы Т., ²Төлеухан А.Т., ²Жұмабек Ө.

¹Қарагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

²Восточно-Казахстанский университет имени С. Аманжолова, Усть-Каменогорск, Казахстан

* Автор-корреспондент e-mail: d.b.28051976@gmail.com

Информация об авторах:

Дарыбаев Б. - Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан. E-mail:

d.b.28051976@gmail.com

Сәрсенханқызы Т. - Восточно-Казахстанский университет имени С. Аманжолова, Усть-Каменогорск, Казахстан. E-mail: s.tannur1997@gmail.com

Төлеухан А.Т. - Восточно-Казахстанский университет имени С. Аманжолова, Усть-Каменогорск, Казахстан. E-mail: amanbol.toleukhan@gmail.com

Жұмабек Ө. - Восточно-Казахстанский университет имени С. Аманжолова, Усть-Каменогорск, Казахстан. E-mail: omirbek-00@bk.ru

Аннотация. В статье рассматриваются научные основы обеспечения правильного формирования опорно-двигательного аппарата у детей и подростков. Морфофункциональное развитие опорно-двигательного аппарата в период роста и развития напрямую влияет на общее состояние здоровья организма. Анализируются биологические, физиологические и социальные факторы, способствующие формированию опорно-двигательного аппарата.

Ключевые слова: дети, подростки, опорно-двигательная система, морфофункциональное развитие, рост и развитие, здоровье, научные основы, биологические факторы, физиологические факторы, социальные факторы, развитие организма, профилактика.

НЕГІЗГІ ЕРЕЖЕЛЕР

Балалар мен жасөспірімдердің тірек-қимыл жүйесінің дұрыс қалыптасуы қозғалыс белсенділігінің жеткілікті деңгейіне, оқу жүктемесінің дұрыс ұйымдастырылуына және эргономикалық талаптардың сақталуына тікелей байланысты. Арнайы әзірленген дене жаттығулары кешені мен сауықтыру-алдын алу іс-шараларын жүйелі қолдану дене қалпын, омыртқа бағанының функционалдық жағдайын, бұлшықет төзімділігін, икемділікті және жалпы қозғалыс белсенділігін жақсартуға мүмкіндік береді. Ұсынылған жаттығулар кешені мен профилактикалық іс-шаралар жүйесін жоғары оқу орындарының білім беру үдерісіне енгізу білім алушылардың денсаулығын сақтаудың, тірек-қимыл жүйесі бұзылыстарының алдын алудың және олардың функционалдық мүмкіндіктерін арттырудың тиімді құралы болып табылады.

КІРІСПЕ

Балалар мен жасөспірімдерде тірек-қимыл жүйесінің дұрыс қалыптасуы денсаулықты сақтаудың маңызды шарттарының бірі болып табылады. Қазіргі таңда қозғалыс белсенділігінің төмендеуі мен оқу жүктемесінің артуы тірек-

қимыл аппараты бұзылыстарының жиілеуіне әкелуде.

Балалар мен жасөспірімдердің тірек-қимыл жүйесінің қалыптасуына арналған ғылыми зерттеулер жеткілікті болғанымен, олардың басым бөлігі биологиялық, физиологиялық немесе медициналық аспектілерді жеке қарастырады. Сонымен қатар, білім беру ұйымдары жағдайында қозғалыс белсенділігін ұйымдастыру, алдын алу іс-шаралары мен түзету жаттығуларын кешенді түрде қолданудың тиімділігі жеткілікті зерттелмеген. Әсіресе Қазақстанның жоғары оқу орындары жағдайында тірек-қимыл жүйесінің функционалдық жағдайын жақсартуға бағытталған кешенді педагогикалық бағдарламалардың тиімділігіне эксперименттік тұрғыдан баға беретін зерттеулер саны шектеулі. Осыған байланысты білім алушылардың денсаулығын нығайтуға және тірек-қимыл жүйесі бұзылыстарының алдын алуға бағытталған ғылыми негізделген практикалық ұсынымдарды әзірлеу қажеттілігі туындайды.

Зерттеудің өзектілігі. Қазіргі қоғамда балалар мен жасөспірімдердің денсаулығын сақтау мәселесі өзекті ғылыми және әлеуметтік міндеттердің бірі болып табылады. Осы тұрғыда

тірек-қимыл жүйесінің дұрыс қалыптасуын қамтамасыз ету өскелең ұрпақтың физикалық дамуы мен функционалдық тұрақтылығының негізгі көрсеткіші ретінде қарастырылады. Балалық және жасөспірімдік кезең ағзаның морфофункционалдық жетілуімен сипатталатын, сыртқы факторлардың әсеріне жоғары сезімтал биологиялық кезең болып табылады.

Қозғалыс белсенділігінің төмендеуі, оқу үдерісіндегі статикалық жүктемелердің артуы, цифрлық технологияларды шамадан тыс пайдалану және эргономикалық талаптардың сақталмауы тірек-қимыл аппаратының құрылымдық және функционалдық бұзылыстарының жиілеуіне алып келуде. Ғылыми деректер омыртқа бағанының қисаюы, бұлшықет теңгерімсіздігі және тірек-қимыл жүйесінің адаптациялық мүмкіндіктерінің төмендеуі мектеп жасында кең таралғанын көрсетеді. Осыған байланысты тірек-қимыл жүйесінің қалыптасу заңдылықтарын, оған әсер ететін биологиялық, физиологиялық және әлеуметтік факторларды ғылыми тұрғыда негіздеу және бұзылыстардың алдын алудың тиімді жолдарын анықтау ерекше маңызға ие.

Тірек-қимыл жүйесінің дұрыс қалыптасуы мәселесі көптеген отандық және шетелдік ғалымдардың ғылыми еңбектерінде кеңінен қарастырылған. П.Ф. Лесгафт жүйелі және ғылыми негізделген дене жаттығулары тірек-қимыл жүйесінің үйлесімді дамуын қамтамасыз ететінін атап көрсеткен [1]. В.К. Бальсевич қозғалыс белсенділігінің жас ерекшеліктеріне сәйкес дамуы морфофункционалдық жетілуге тікелей ықпал ететінін дәлелдеген [2]. Оқу үдерісіндегі статикалық жүктемелердің артуы омыртқа бағанының қисаюы мен бұлшықет теңгерімсіздігінің жиілеуіне алып келеді [3, 4]. Дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымының деректеріне сәйкес, жеткілікті деңгейдегі қозғалыс белсенділігі сүйек тығыздығын арттырады [5, 6, 7].

Дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымының (WHO) деректеріне сәйкес, жеткілікті деңгейдегі қозғалыс белсенділігі сүйек тығыздығын арттырып, тірек-қимыл жүйесінің функционалдық тұрақтылығын қамтамасыз етеді.

Зерттеудің міндеттері. Балалар мен жасөспірімдерде тірек - қимыл жүйесінің

морфофункционалдық даму ерекшеліктерін талдау. Тірек-қимыл аппаратының қалыптасуына әсер ететін негізгі биологиялық және әлеуметтік факторларды жүйелеу.

Қозғалыс белсенділігінің тірек-қимыл жүйесінің функционалдық тұрақтылығына әсерін ғылыми тұрғыда негіздеу.

Оқу үдерісіндегі жүктемелердің тірек-қимыл аппаратына ықпалын бағалау.

Тірек-қимыл жүйесінің бұзылыстарының алдын алуға бағытталған ғылыми негізделген тұжырымдар әзірлеу.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы. Зерттеудің ғылыми жаңалығы білім беру ұйымы жағдайында балалар мен жасөспірімдердің тірек-қимыл жүйесінің дұрыс қалыптасуын қамтамасыз етуге бағытталған арнайы жаттығулар кешені мен алдын алу іс-шараларының тиімділігіне кешенді бағалау жүргізілуімен сипатталады. Зерттеу барысында тірек-қимыл жүйесінің морфофункционалдық жағдайына әсер ететін биологиялық, физиологиялық және әлеуметтік факторлар теориялық тұрғыдан жүйеленіп, педагогикалық эксперимент нәтижелері арқылы олардың практикалық тиімділігі дәлелденді. Алынған нәтижелер негізінде білім беру ұйымдарында дене қалпын түзетуге, қозғалыс белсенділігін арттыруға және тірек-қимыл жүйесі бұзылыстарының алдын алуға арналған ғылыми негізделген практикалық ұсынымдар ұсынылды.

ЗЕРТТЕУ ӘДІСІ

Зерттеуге Қарағанды индустриалдық университетінің 1-курс студенттері қатысты. Зерттеу басталғанға дейін студенттердің тірек-қимыл жүйесінің бастапқы функционалдық жағдайын анықтау мақсатында диагностикалық бақылау жүргізілді. Кесте 1-де зерттеуге қатысушылардың эксперимент басталғанға дейінгі бастапқы функционалдық көрсеткіштері ұсынылған. Бастапқы диагностика нәтижелері дене қалпының ішінара ауытқуын, бұлшықет төзімділігі мен икемділіктің төмен деңгейін, сондай-ақ қозғалыс белсенділігінің ұсынылған нормадан төмен екенін көрсетті. Зерттеу барысында ғылыми әдебиеттерге теориялық талдау жүргізілді. Салыстырмалы талдау, жүйелеу және жалпылау әдістері қолданылды.

Кесте 1 - Зерттеуге дейінгі нәтижелер (бастапқы диагностика)

Көрсеткіштер	Бағалау әдісі	Норма	Нәтиже (орташа)	Бағалау деңгейі
Дене қалпы	Көрнекі бақылау	Түзу	Ішінара ауытқу	Орташа
Омыртқа иілімдері	Скрининг тесті	Физиологиялық	Функционалдық ауытқу	Орташа
Бұлшықет төзімділігі	Статикалық тест	≥60 сек	42±5 сек	Төмен
Икемділік деңгейі	Алға еңкею тесті	≥6 см	3±1 см	Төмен
Қозғалыс белсенділігі	Сауалнама	≥150 мин/апта	90±15 мин	Төмен

ЗЕРТТЕУ НӘТИЖЕЛЕРІ МЕН ТАЛДАУ

Зерттеу барысында балалар мен жасөспірімдерде тірек-қимыл жүйесінің дұрыс қалыптасуын қамтамасыз етуге бағытталған арнайы жаттығу кешені мен сауықтыру-алдын алу іс-шаралары қолданылды. Эксперимент Қарағанды индустриалдық университетінің 1-курс студенттерінің қатысуымен жүргізілді.

Жаттығу кешені тірек-қимыл аппаратының морфофункционалдық дамуын оңтайландыруға, бұлшықет теңгерімін қалыптастыруға және дене қалпының бұзылыстарының алдын алуға бағытталды. Кешенді құрастыруда жас ерекшеліктері, оқу жүктемесінің сипаты және қозғалыс белсенділігінің бастапқы деңгейі ескерілді.

Экспериментте қолданылған жаттығу кешені келесі негізгі бағыттарды қамтыды:

Дене қалпын түзетуге арналған жаттығулар (арқа, иық белдеуі және іш бұлшықеттерін нығайту);

Омыртқа бағанының икемділігін арттыру жаттығулары (созылу және релаксация);

Бұлшықет төзімділігін дамыту жаттығулары (дене салмағымен, изометриялық);

Қозғалыс үйлесімділігі мен тепе-теңдікті дамыту жаттығулары.

Сонымен қатар эксперимент аясында келесі іс-шаралар жүйесі ұйымдастырылды:

- оқу сабақтары арасында қозғалыс үзілістерін енгізу;

- дұрыс дене қалпы және эргономика бойынша түсіндіру жұмыстары;

- қозғалыс белсенділігін арттыруға бағытталған топтық сауықтыру іс-шаралары; ақпараттық-нұсқаулық жұмыстар.

Жаттығу кешені аптасына 2–3 рет өткізілді. Жүктеме көлемі мен қарқындылығы студенттердің функционалдық мүмкіндіктеріне сәйкес біртіндеп арттырылды.

Эксперимент аяқталғаннан кейін Қарағанды индустриалдық университетінің 1-курс студенттерінің тірек-қимыл жүйесінің функционалдық көрсеткіштеріне қайта диагностикалық бағалау жүргізілді.

Алынған нәтижелер экспериментке дейінгі бастапқы көрсеткіштермен салыстырылып талданды. Кесте 2-де эксперименттен кейінгі көрсеткіштердің динамикасы берілген. Барлық зерттелген көрсеткіштер бойынша оң өзгерістер байқалды. Бұлшықет төзімділігі 45%-ға, икемділік деңгейі 57%-ға, қозғалыс белсенділігі 83%-ға артты. Сонымен қатар дене қалпы мен омыртқа бағанының функционалдық жағдайы айтарлықтай жақсарды. Алынған нәтижелер ұсынылған жаттығулар кешенінің тиімділігін дәлелдейді.

Кесте 2 - Зерттеуден кейінгі нәтижелер (соңғы диагностика)

Көрсеткіштер	Бағалау әдісі	Экспериментке дейін	Эксперименттен кейін	Өзгеріс (%)	Бағалау деңгейі
Дене қалпы	Көрнекі бақылау	Ішінара ауытқу	Жақсарған	+25%	Жақсы
Омыртқа иілімдері	Скрининг тесті	Функционалдық ауытқу	Қалыпқа жақын	+20%	Жақсы
Бұлшықет төзімділігі	Статикалық тест	42±5 сек	61±6 сек	+45%	Жоғары
Икемділік деңгейі	Алға еңкею тесті	3±1 см	7±2 см	+57%	Жақсы
Қозғалыс белсенділігі	Сауалнама	90±15 мин/апта	165±20 мин/апта	+83%	Жоғары

Кесте 1-де зерттеуге қатысушылардың эксперимент басталғанға дейінгі тірек-қимыл жүйесінің функционалдық жағдайының бастапқы көрсеткіштері берілген. Бастапқы диагностика нәтижелері зерттеуге қатысушылардың дене қалпында ішінара ауытқулардың бар екенін, бұлшықет төзімділігі мен икемділік деңгейінің төмен екенін көрсетті. Сонымен қатар қозғалыс белсенділігінің орташа көрсеткіші ұсынылатын физиологиялық нормадан төмен болды. Алынған нәтижелер студенттердің тірек-қимыл жүйесінің функционалдық жағдайын жақсартуға бағытталған арнайы профилактикалық және сауықтыру іс-шараларын енгізудің қажеттілігін дәлелдейді.

Кесте 2-де педагогикалық эксперимент аяқталғаннан кейінгі функционалдық көрсеткіштердің өзгерісі ұсынылған. Нәтижелер барлық зерттелген көрсеткіштер бойынша оң динамиканы көрсетті. Дене қалпы мен омыртқа бағанының функционалдық жағдайы жақсарып, бұлшықет төзімділігі 45%-ға, икемділік деңгейі 57%-ға және қозғалыс белсенділігі 83%-ға артқаны анықталды. Бұл өзгерістер ұсынылған жаттығулар кешені мен алдын алу іс-шараларының тиімділігін дәлелдейді және оларды білім беру ұйымдарының оқу-тәрбие үдерісінде қолданудың ғылыми және практикалық маңыздылығын растайды.

ҚОРЫТЫНДЫ

Жүргізілген педагогикалық эксперимент нәтижелері балалар мен жасөспірімдерде тірек-қимыл жүйесінің дұрыс қалыптасуын қамтамасыз етуге бағытталған жаттығу кешені мен іс-шаралар жүйесінің тиімділігін дәлелдеді. Эксперименттен кейін дене қалпының жақсаруы, омыртқа бағанының функционалдық жағдайының оң өзгеруі, бұлшықет төзімділігі мен икемділік деңгейінің айтарлықтай артқаны анықталды.

Алынған нәтижелер қозғалыс белсенділігінің жеткілікті деңгейде ұйымдастырылуы тірек-

қимыл жүйесінің морфофункционалдық дамуына оң әсер ететінін көрсетеді. Ұсынылған жаттығу кешені мен алдын алу іс-шаралары жүйесін жоғары оқу орындарының білім беру үдерісіне енгізу студенттердің денсаулығын сақтаудың және нығайтудың тиімді ғылыми-практикалық құралы ретінде ұсынылады.

Мүдделер қақтығысы. Авторлар осы зерттеуді орындау және мақаланы жариялау барысында мүдделер қайшылығы жоқ екенін мәлімдейді.

Авторлардың үлесін көрсету (таксономия CRediT): **Б. Дарыбаев** – зерттеу тұжырымдамасын әзірлеу, зерттеу әдіснамасын қалыптастыру, педагогикалық экспериментті ұйымдастыру және жүргізу, нәтижелерді талдау, мақаланың бастапқы қолжазбасын дайындау. **Т. Сәрсенханқызы** – ғылыми әдебиеттерді талдау, мәліметтерді жинақтау, нәтижелерді интерпретациялау, мақаланы редакциялау. **А.Т. Төлеухан** – зерттеу материалдарын өңдеу, мәліметтерді жүйелеу, ғылыми талқылауға қатысу, мақаланы рецензиялау. **Ө. Жұмабек** – нәтижелерді тексеру, ғылыми кеңес беру, мақаланың қорытынды нұсқасын редакциялау және жариялауға дайындау. Барлық авторлар мақаланың соңғы нұсқасымен танысып, оны жариялауға мақұлдады және зерттеу нәтижелерінің дұрыстығына ортақ жауапкершілік алады.

Қаржыландыру. Зерттеу сыртқы қаржыландырусыз орындалды.

Алғыс. Авторлар зерттеуді ұйымдастыруға және ғылыми қолдау көрсеткені үшін Қарағанды индустриялық университетіне және С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университетіне шынайы алғыс білдіреді.

Авторлық құқық © 2026 автор(лар)ға тиесілі. Бұл мақала Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0) лицензиясы бойынша ашық қолжетімді болып табылады. Лицензия түпнұсқа еңбекке тиісті түрде сілтеме жасалған жағдайда, кез келген ортада пайдалануға, таратуға және қайта жариялауға рұқсат береді. Туынды материалдар осы лицензияның дәл осындай шарттарымен таратылуы тиіс.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- [1] Лесгафт П.Ф. Руководство по физическому воспитанию детей школьного возраста. – М.: Педагогика, 2000. – 320 с.
- [2] Бальсевич В.К. Онтоткинезиология человека. – М.: Теория и практика физической культуры, 2009. – 280 с.
- [3] Виленский М.Я. Физическое воспитание и здоровье студентов. – М.: Академия, 2015. – 256 с.
- [4] Кузнецов В.С., Колодницкий Г.А. Физическое развитие детей и подростков. – М.: Просвещение, 2012. –

240 с.

[5] World Health Organization. Guidelines on physical activity and sedentary behaviour. – Geneva: WHO, 2020. Солодков А.С., Сологуб Е.Б. Физиология человека. Общая. Спортивная. Возрастная. – М.: Олимпия, 2016. – 528 с.

[6] Plowman S.A., Smith D.L. Exercise Physiology for Health, Fitness, and Performance. – Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2018.

REFERENCES

[1] P. F. Lesgaft, *Rukovodstvo po fizicheskomu vospitaniyu detey shkol'nogo vozrasta* [Guide to Physical Education for School-Age Children]. Moscow: Pedagogika, 2000. (In Russian).

[2] V. K. Bal'sevich, *Ontokineziologiya cheloveka* [Human Ontokinesiology]. Moscow: Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury, 2009. (In Russian).

[3] M. Ya. Vilenskiy, *Fizicheskoe vospitanie i zdorov'e studentov* [Physical Education and Health of Students]. Moscow: Akademiya, 2015. (In Russian).

[4] V. S. Kuznetsov and G. A. Kolodnitskiy, *Fizicheskoe razvitie detey i podrostkov* [Physical Development of Children and Adolescents]. Moscow: Prosveshchenie, 2012. (In Russian).

[5] World Health Organization, *Guidelines on Physical Activity and Sedentary Behaviour*. Geneva: World Health Organization, 2020.

[6] A. S. Solodkov and E. B. Sologub, *Fiziologiya cheloveka. Obshchaya. Sportivnaya. Vozrastnaya* [Human Physiology: General, Sports and Developmental Physiology]. Moscow: Olimpiya, 2016. (In Russian).

[7] S. A. Plowman and D. L. Smith, *Exercise Physiology for Health, Fitness, and Performance*. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins, 2018.

ЭКОНОМИКА. ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ, СОЦИАЛЬНО-ГУМАНИТАРНЫЕ И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ДИСЦИПЛИНЫ

DOI: <https://www.doi.org/10.53002/129>

THE PRACTICE OF IMPLEMENTING AN INTEGRATED MODEL OF SANITARY AND EPIDEMIOLOGICAL MANAGEMENT: PROBLEMS AND WAYS OF IMPROVEMENT

***Kakenov M.A., Aityshev N.B., Sauletov E. S., Tatueva M.M., Akmaganbetova A.S.**

Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan

** Corresponding author email: medet.kakenov@tttu.edu.kz*

Author information:

Kakenov M.A. - Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan. E-mail: medet.kakenov@tttu.edu.kz

Aityshev N.B. - Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan. E-mail: n.ajtyshv@tttu.edu.kz

Sauletov E.S. - Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan. E-mail: e.sauletov@tttu.edu.kz

Tatueva M.M. - Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan. E-mail: m.tatueva@tttu.edu.kz

Akmaganbetova A.S. - Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan. E-mail: a.akmaganbetova@tttu.edu.kz

Abstract. The article examines the practice of implementing an integrated model of sanitary and epidemiological management in the system of sanitary and epidemiological control of the Republic of Kazakhstan on the example of the activities of the National Center of Expertise RSE at the PHB. The purpose of the study is to identify the problems of functioning of corporate and management mechanisms, as well as substantiate the directions of their improvement. The methodological basis was the system and institutional directions, the analysis of regulatory and management documents, minutes of meetings of the Supervisory Board, and reporting materials. As a result, it was found that with the formal formation of the integrated model, the problems of risk-based management, internal control, and institutional independence of control functions remain. The conclusion is made about the need to strengthen the strategic role of corporate governance.

Keywords: sanitary and epidemiological management, corporate governance, supervisory board, public sector, internal control, risk-based approach, compliance, sanitary and epidemiological control, risk management, management effectiveness.

САНИТАРЛЫҚ-ЭПИДЕМИОЛОГИЯЛЫҚ БАСҚАРУДЫҢ ИНТЕГРАЦИЯЛАНҒАН МОДЕЛІН ІСКЕ АСЫРУ ТӘЖІРИБЕСІ: ЖЕТІЛДІРУ МӘСЕЛЕЛЕРІ МЕН ЖОЛДАРЫ

***Какенов М.А., Айтышев Н.Б., Саулетов Е.С., Татиева М.М., Ақмағанбетова А.С.**

Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан

** Автор-корреспондент e-mail: medet.kakenov@tttu.edu.kz*

Авторлар туралы ақпарат:

Какенов М.А. - Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан. E-mail: medet.kakenov@tttu.edu.kz

Айтышев Н.Б. - Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан. E-mail: n.ajtyshv@tttu.edu.kz

Саулетов Е.С. - Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан. E-mail: e.sauletov@tttu.edu.kz

Татиева М.М. - Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан. E-mail: m.tatueva@tttu.edu.kz

Ақмағанбетова А.С. - Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан. E-mail: a.akmaganbetova@tttu.edu.kz

Аңдатпа. Мақалада «Ұлттық сараптама орталығы» ШЖҚ РМК қызметінің мысалында Қазақстан Республикасының санитариялық-эпидемиологиялық бақылау жүйесінде санитариялық-эпидемиологиялық басқарудың интеграцияланған моделін іске асыру практикасы қарастырылады. Зерттеудің мақсаты корпоративтік және басқару тетіктерінің жұмыс істеу проблемаларын анықтау, сондай-ақ оларды жетілдіру бағыттарын негіздеу болып табылады. Әдіснамалық негіз жүйелі және институционалдық бағыттар, нормативтік және басқару құжаттарын, Бақылау кеңесі отырыстарының хаттамаларын және есеп беру материалдарын талдау болды. Нәтижесінде интеграцияланған модельдің формальды қалыптасуымен тәуекелге бағытталған басқару, ішкі

бақылау және бақылау функцияларының институционалдық тәуелсіздігі мәселелері сақталатыны анықталды. Корпоративтік басқарудың стратегиялық рөлін күшейту қажеттілігі туралы қорытынды жасалды.

Түйін сөздер: санитарлық-эпидемиологиялық басқару, Корпоративтік басқару, бақылау кеңесі, мемлекеттік сектор, ішкі бақылау, тәуекелге бағдарланған тәсіл, сәйкестік, санитарлық-эпидемиологиялық бақылау, тәуекелдерді басқару, басқару тиімділігі.

ПРАКТИКА РЕАЛИЗАЦИИ ИНТЕГРИРОВАННОЙ МОДЕЛИ САНИТАРНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

***Какенов М.А., Айтышев Н.Б., Саулетов Е.С., Татиева М.М., Ақмағанбетова А.С.**

Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

** Автор-корреспондент e-mail: medet.kakenov@tttu.edu.kz*

Информация об авторах:

Какенов М.А. - Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан. E-mail: medet.kakenov@tttu.edu.kz

Айтышев Н.Б. - Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан. E-mail: n.ajtyshv@tttu.edu.kz

Саулетов Е.С. - Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан. E-mail: e.sauletov@tttu.edu.kz

Татиева М.М. - Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан. E-mail: m.tatiyeva@tttu.edu.kz

Ақмағанбетова А.С. - Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан. E-mail: a.akmaganbetova@tttu.edu.kz

Аннотация. В статье рассматривается практика реализации интегрированной модели санитарно-эпидемиологического управления в системе санитарно-эпидемиологического контроля Республики Казахстан на примере деятельности РГП на ПХВ «Национальный центр экспертизы». Цель исследования заключается в выявлении проблем функционирования корпоративных и управленческих механизмов, а также обосновании направлений их совершенствования. Методологической основой послужили системный и институциональный направления, анализ нормативных и управленческих документов, протоколов заседаний наблюдательного совета и отчетных материалов. В результате установлено, что при формальной сформированности интегрированной модели сохраняются проблемы риск-ориентированного управления, внутреннего контроля и институциональной независимости контрольных функций. Сделан вывод о необходимости усиления стратегической роли корпоративного управления.

Ключевые слова: санитарно-эпидемиологическое управление, корпоративное управление, наблюдательный совет, государственный сектор, внутренний контроль, риск-ориентированный подход, комплаенс, санитарно-эпидемиологический контроль, управление рисками, эффективность управления.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В системе санитарно-эпидемиологического контроля Республики Казахстан сформирована институциональная модель корпоративного управления, включающая наблюдательный совет, исполнительный орган, внутренний аудит и комплаенс-службу, однако её практическая реализация характеризуется недостаточной интеграцией механизмов риск-ориентированного управления и внутреннего контроля. Анализ практики деятельности РГП на ПХВ «Национальный центр экспертизы» выявил институциональные ограничения функционирования интегрированной модели санитарно-эпидемиологического управления,

проявляющиеся в преобладании реактивных управленческих решений, недостаточной независимости контрольных функций и ограниченной превентивной роли корпоративных органов управления. Повышение эффективности интегрированной модели санитарно-эпидемиологического управления требует усиления стратегической роли наблюдательного совета, обеспечения институциональной независимости внутреннего аудита и комплаенс-службы, внедрения риск-ориентированного подхода в процессы принятия управленческих решений и совершенствования механизмов корпоративного управления.

ВВЕДЕНИЕ

Современная система санитарно-эпидемиологического контроля Республики Казахстан развивается в условиях качественного усложнения внешней и внутренней среды функционирования, что проявляется в росте санитарных, эпидемиологических и управленческих рисков. Глобализация экономических связей, активные миграционные процессы, ускоренная урбанизация, концентрация населения в крупных агломерациях, а также диверсификация форм хозяйственной деятельности существенно повышают вероятность распространения инфекционных заболеваний, техногенных и биологических угроз. Одновременно возрастает нагрузка на государственные органы санитарно-эпидемиологического профиля, что требует не только совершенствования нормативно-правового регулирования, но и повышения качества управленческих решений на всех уровнях системы санитарно-эпидемиологического контроля.

В указанных условиях особое значение приобретает формирование и практическая реализация интегрированной модели санитарно-эпидемиологического управления, основанной на согласованном взаимодействии органов стратегического руководства, исполнительного управления и внутреннего контроля. Подобная модель предполагает переход от фрагментарного и реактивного реагирования на угрозы к системному, превентивному и риск-ориентированному управлению, обеспечивающему устойчивость и адаптивность санитарно-эпидемиологической системы в долгосрочной перспективе. Базовым элементом данной модели выступают механизмы корпоративного управления в организациях квазигосударственного сектора, призванные обеспечить четкое распределение полномочий, подотчетность управленческих органов, прозрачность процедур принятия решений и контроль за их исполнением.

Практика деятельности РГП на ПХВ «Национальный центр экспертизы» Комитета санитарно-эпидемиологического контроля Министерства здравоохранения Республики Казахстан свидетельствует о формальном наличии институционально выстроенной системы корпоративного управления, включающей наблюдательный совет, исполнительный орган, службы внутреннего аудита и комплаенса. Вместе с тем анализ управленческих документов и практики принятия решений выявляет ряд устойчивых проблем, связанных с разрывом между нормативно

закрепленными принципами корпоративного управления и их фактической реализацией. К числу таких проблем относятся недостаточная интеграция риск-ориентированного подхода в стратегическое управление, фрагментарность внутреннего контроля, ограниченная превентивная роль корпоративных органов и преобладание корректирующих управленческих решений.

Указанные обстоятельства обуславливают высокую актуальность научного анализа практики внедрения интегрированной модели санитарно-эпидемиологического управления и поиска направлений ее совершенствования. Особую значимость приобретает оценка эффективности действующих нормативных и организационных механизмов корпоративного управления, а также обоснование путей их адаптации к современным вызовам в сфере санитарно-эпидемиологической безопасности. Такой подход позволяет рассматривать интегрированную модель управления не только как формальную институциональную конструкцию, но и как действенный инструмент повышения устойчивости, результативности и общественной значимости системы санитарно-эпидемиологического контроля Республики Казахстан [1], [2].

Пробел в исследованиях. Несмотря на значительное количество исследований, посвящённых корпоративному управлению, государственному менеджменту и риск-ориентированному подходу, практика функционирования интегрированной модели санитарно-эпидемиологического управления в организациях квазигосударственного сектора изучена недостаточно. Большинство существующих работ рассматривает отдельные аспекты нормативно-правового регулирования, внутреннего контроля или корпоративного управления, тогда как вопросы их комплексной интеграции в систему санитарно-эпидемиологического контроля Республики Казахстан остаются недостаточно раскрытыми. Недостаточно исследованы институциональные ограничения функционирования органов корпоративного управления, механизмы взаимодействия наблюдательного совета, исполнительного органа, внутреннего аудита и комплаенс-службы, а также их влияние на эффективность риск-ориентированного управления. Это обуславливает необходимость комплексного анализа практики реализации интегрированной модели санитарно-эпидемиологического управления и разработки научно обоснованных направлений её совершенствования.

Научная новизна. Научная новизна исследования заключается в проведении комплексной институциональной оценки практики реализации интегрированной модели санитарно-эпидемиологического управления в системе санитарно-эпидемиологического контроля Республики Казахстан. В работе впервые дана системная оценка взаимодействия механизмов корпоративного управления, внутреннего аудита, комплаенс-контроля и риск-ориентированного управления на примере деятельности РГП на ПХВ «Национальный центр экспертизы». Выявлены институциональные ограничения, снижающие эффективность действующей модели управления, и предложены научно обоснованные направления её совершенствования, предусматривающие усиление стратегической роли наблюдательного совета, повышение независимости контрольных функций и развитие превентивных механизмов управления рисками.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Методологическую основу исследования формируют системный и институциональный подходы, позволяющие рассматривать корпоративное управление в государственном секторе как целостную совокупность взаимосвязанных элементов, функционирующих в рамках установленной нормативно-правовой и организационной среды. Системный подход использован для анализа структуры санитарно-эпидемиологического управления, выявления взаимосвязей между стратегическим, операционным и контрольным уровнями управления, а также оценки согласованности их функционирования в рамках интегрированной модели. Институциональный подход позволил исследовать формальные правила, нормы и процедуры, регламентирующие деятельность органов корпоративного управления, а также выявить институциональные ограничения, возникающие в процессе их практической реализации в квазигосударственном секторе.

Эмпирическую базу исследования составили внутренние нормативные документы и управленческая документация РГП на ПХВ «Национальный центр экспертизы», отражающие фактическую практику корпоративного управления и внутреннего контроля. В их числе использованы положение о наблюдательном совете, положение о секретаре наблюдательного совета, планы работы наблюдательного совета, протоколы очных и заочных заседаний наблюдательного совета за 2022–2023 годы, а также отчет о деятельности секретаря наблюдательного совета за 2023 год [1], [3], [4].

Указанные документы позволили проследить динамику управленческих решений, выявить приоритетные направления деятельности органов корпоративного управления и оценить степень их соответствия заявленным целям и функциям.

В ходе исследования применялся комплекс общенаучных и специальных методов. Метод анализа документов использовался для систематизации и интерпретации нормативных и управленческих материалов, выявления повторяющихся проблемных зон и характерных управленческих решений. Сравнительно-правовой анализ позволил сопоставить положения внутренних документов предприятия с требованиями законодательства Республики Казахстан в сфере государственного имущества и противодействия коррупции, а также выявить расхождения между нормативно закрепленными и фактически реализуемыми управленческими механизмами. Элементы контент-анализа управленческих решений применялись для выявления тематических доминант в повестках заседаний наблюдательного совета, оценки направленности принимаемых решений и степени их ориентации на превентивное либо корректирующее управление.

Логика исследования основана на поэтапном сопоставлении нормативно закрепленных функций органов корпоративного управления с фактической практикой принятия и исполнения управленческих решений. Такой подход позволил выявить институциональные разрывы между формальной моделью интегрированного санитарно-эпидемиологического управления и ее практической реализацией, а также определить основные методологические положения для обоснования направлений совершенствования корпоративных механизмов управления в системе санитарно-эпидемиологического контроля.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ практики реализации интегрированной модели санитарно-эпидемиологического управления показал, что в деятельности Национального центра экспертизы сформирована многоуровневая система корпоративного управления, включающая наблюдательный совет, исполнительный орган, службу внутреннего аудита и антикоррупционную комплаенс-службу. Данная система институционально закреплена и функционирует на основе нормативно-правовых актов, регламентирующих полномочия, ответственность и порядок взаимодействия органов управления в соответствии с требованиями законодательства Республики

Казахстан о государственном имуществе и противодействии коррупции [2], [5]. Формальное наличие всех структурообразующих элементах корпоративного управления свидетельствует о стремлении к внедрению современных управленческих подходов и обеспечению прозрачности деятельности квазигосударственной организации санитарно-эпидемиологического профиля.

Таблица 1 - Институциональные проблемы реализации интегрированной модели санитарно-эпидемиологического управления и направления их совершенствования

Выявленная проблема	Проявление	Предлагаемое направление совершенствования
Недостаточная интеграция риск-ориентированного управления	Управленческие решения принимаются преимущественно после выявления нарушений	Внедрение системы прогнозирования и оценки рисков при стратегическом планировании
Фрагментарность внутреннего контроля	Повторяемость нарушений и недостаточная реализация рекомендаций внутреннего аудита	Усиление взаимодействия внутреннего аудита, исполнительного органа и наблюдательного совета
Ограниченная независимость комплаенс-службы	Подчиненность исполнителю у органа снижает объективность контроля	Повышение институциональной независимости комплаенс-функции
Преобладание реактивного управления	Контроль ориентирован на устранение последствий, а не профилактику рисков	Развитие превентивных механизмов корпоративного управления
Недостаточная стратегическая роль наблюдательного совета	Основное внимание уделяется текущим вопросам деятельности	Расширение участия наблюдательного совета в стратегическом управлении и управлении рисками

Анализ данных, представленных в таблице 1, показывает, что основными препятствиями эффективной реализации интегрированной модели являются недостаточная интеграция риск-ориентированного управления, ограниченная

независимость контрольных функций и преобладание реактивного характера управленческих решений. Выявленные проблемы требуют совершенствования механизмов корпоративного управления и усиления стратегической роли наблюдательного совета. Вместе с тем результаты анализа материалов заседаний наблюдательного совета указывают на преобладание корректирующих управленческих решений, ориентированных преимущественно на устранение уже выявленных нарушений и несоответствий. Основное внимание в повестках заседаний уделяется вопросам финансового учета, управлению товарно-материальными запасами, корректности финансовой отчетности и устранению недостатков в системе внутреннего контроля [1]. Такая направленность управленческих решений свидетельствует о реактивном характере корпоративного управления, при котором управление рисками осуществляется постфактум, а не на основе системного прогнозирования и предупреждения потенциальных угроз. Это указывает на недостаточную развитость превентивных механизмов управления рисками и ограниченную интеграцию риск-ориентированного подхода в процессы стратегического планирования и принятия управленческих решений.

Существенной проблемой реализации интегрированной модели санитарно-эпидемиологического управления остается фрагментарность системы внутреннего контроля. Несмотря на регулярное проведение внутренних аудитов и формирование рекомендаций по устранению выявленных нарушений, результаты контрольных мероприятий не всегда трансформируются в устойчивые управленческие изменения. Анализ решений наблюдательного совета показывает, что отдельные системные недостатки, в том числе в сфере учета активов и организации контрольных процедур, повторяются в различных отчетных периодах [6]. Это свидетельствует о недостаточной связке между функциями внутреннего аудита, исполнительного органа и стратегического контроля, а также о слабой институционализации механизмов ответственности за неисполнение или формальное исполнение принятых решений.

Особое значение в контексте интегрированной модели управления приобретает институциональный статус антикоррупционной комплаенс-службы. Подчиненность данной службы исполнительному органу создает правовые и управленческие коллизии и противоречит принципу независимости контрольных функций, закрепленному в законодательстве Республики

Казахстан о противодействии коррупции [5]. В результате комплаенс-функция в большей степени ориентирована на формальное соблюдение требований и отчетность, нежели на системную профилактику коррупционных рисков и формирование культуры добросовестного управления. Это снижает эффективность комплаенс-механизмов как элемента интегрированной модели санитарно-эпидемиологического управления.

Важным связующим элементом между стратегическим и операционным уровнями управления в данной системе выступает секретарь наблюдательного совета. Именно через деятельность секретариата обеспечивается организационная и информационная целостность интегрированной модели управления, подготовка материалов к заседаниям, координация взаимодействия между органами управления и мониторинг исполнения решений наблюдательного совета. Вместе с тем практика показывает, что высокая нагрузка, широкий круг функций и ограниченные институциональные ресурсы секретариата существенно сужают возможности системного и углубленного контроля за реализацией управленческих решений [3]. Это приводит к смещению акцента в работе секретариата с аналитической и мониторинговой деятельности на преимущественно организационно-техническое сопровождение заседаний.

В совокупности выявленные проблемы свидетельствуют о том, что интегрированная модель санитарно-эпидемиологического управления в деятельности Национального центра экспертизы в значительной степени носит формально-институциональный характер. Для повышения ее результативности требуется углубление интеграции корпоративных механизмов управления в систему санитарно-эпидемиологического контроля, усиление превентивной и стратегической функции наблюдательного совета, институциональное укрепление независимых контрольных подразделений и переход от формального соответствия нормативным требованиям к результат-ориентированной управленческой практике, ориентированной на долгосрочную устойчивость и снижение управленческих рисков.

Как показано на рисунке 1, повышение эффективности интегрированной модели санитарно-эпидемиологического управления возможно только при комплексном взаимодействии механизмов корпоративного управления, внутреннего аудита, комплаенс-контроля и риск-ориентированного

управления. Их согласованное функционирование обеспечивает переход от реактивной модели управления к стратегической системе предупреждения и минимизации рисков.



Рисунок 1 - Концептуальная модель совершенствования интегрированного санитарно-эпидемиологического управления

ВЫВОДЫ

Проведенное исследование позволяет сделать вывод о том, что интегрированная модель санитарно-эпидемиологического управления в деятельности РГП на ПХВ «Национальный центр экспертизы» институционально сформирована, однако ее практическая реализация сталкивается с рядом устойчивых ограничений. Наиболее значимыми проблемами являются недостаточная зрелость риск-ориентированного управления, фрагментарность внутреннего контроля, институциональные коллизии в сфере антикоррупционного комплаенса и ограниченная превентивная роль наблюдательного совета. Совершенствование интегрированной модели санитарно-эпидемиологического управления должно быть направлено на усиление стратегической функции корпоративных органов, повышение независимости контрольных подразделений, внедрение системной оценки рисков и повышение ответственности за исполнение управленческих решений. Реализация данных направлений позволит повысить устойчивость и результативность санитарно-эпидемиологического контроля и укрепить доверие общества к системе государственного управления в сфере охраны здоровья населения [7].

Авторский вклад (таксономия CRediT):

М.А. Какенов: концептуализация исследования, разработка методологии, руководство исследованием, анализ результатов, подготовка первоначального варианта рукописи. **Н.Б. Айтышев:** сбор и анализ нормативных и управленческих материалов, исследование

системы корпоративного управления, формальный анализ, участие в интерпретации результатов. **Е.С. Саулетов:** анализ документов, исследование институциональных механизмов корпоративного управления, визуализация концептуальной модели, подготовка отдельных разделов рукописи. **М.М. Татиева:** анализ научной литературы, валидация результатов исследования, критический анализ содержания статьи, научное редактирование. **А.С. Акмаганбетова:** проверка достоверности полученных результатов, оформление рукописи, рецензирование, подготовка окончательной версии статьи. Все авторы ознакомились с окончательной версией статьи, одобрили её к

публикации и несут ответственность за достоверность представленных результатов.

Финансирование. Исследование выполнено без привлечения внешнего финансирования.

Авторское право © 2026 принадлежит автору(ам). Данная статья распространяется на условиях открытого доступа в соответствии с лицензией Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0). Лицензия разрешает свободное использование, распространение и воспроизведение в любой форме при условии обязательного указания авторства и сохранения той же лицензии для производных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Отчет о проделанной работе секретаря Наблюдательного совета РГП на ПХВ «Национальный центр экспертизы» за 2023 год. – URL: <https://nce.kz/ru/>
- [2] Закон Республики Казахстан от 1 марта 2011 года № 413-IV «О государственном имуществе». – Астана: 2011. <https://adilet.zan.kz/rus/>
- [3] Положение о секретаре наблюдательного совета РГП на ПХВ «Национальный центр экспертизы». – URL: <https://nce.kz/ru/>
- [4] План работы Наблюдательного совета РГП на ПХВ «Национальный центр экспертизы» на 2022 год. – URL: <https://nce.kz/ru/>
- [5] Закон Республики Казахстан «О противодействии коррупции» от 18 ноября 2015 года № 410-V ЗРК. – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/>
- [6] Протоколы заседаний Наблюдательного совета РГП на ПХВ «Национальный центр экспертизы» за 2022-2023 годы. – URL: <https://nce.kz/ru/>
- [7] РГП на ПХВ «Национальный центр экспертизы» Комитета санитарно-эпидемиологического контроля Министерства здравоохранения Республики Казахстан. Официальный сайт NCE.kz (разделы «Аккредитация», «Международное сотрудничество»). – URL: <https://nce.kz/ru/>

REFERENCES

- [1] Otchet o prodelannoi rabote sekretarya Nablyudatel'nogo soveta RGP na PHV «Natsional'nyi tsentr ekspertizy» za 2023 god [Report on the Activities of the Secretary of the Supervisory Board of the National Center of Expertise RSE on the Right of Economic Management for 2023]. Available at: <https://nce.kz/ru/> (In Russian).
- [2] Zakon Respubliki Kazakhstan ot 1 marta 2011 goda No. 413-IV «O gosudarstvennom imushchestve» [Law of the Republic of Kazakhstan No. 413-IV "On State Property"]. Astana, 2011. Available at: <https://adilet.zan.kz/rus/> (In Russian).
- [3] Polozhenie o sekretare Nablyudatel'nogo soveta RGP na PHV «Natsional'nyi tsentr ekspertizy» [Regulation on the Secretary of the Supervisory Board of the National Center of Expertise RSE on the Right of Economic Management]. Available at: <https://nce.kz/ru/> (In Russian).
- [4] Plan raboty Nablyudatel'nogo soveta RGP na PHV «Natsional'nyi tsentr ekspertizy» na 2022 god [Work Plan of the Supervisory Board of the National Center of Expertise RSE on the Right of Economic Management for 2022]. Available at: <https://nce.kz/ru/> (In Russian).
- [5] Zakon Respubliki Kazakhstan ot 18 noyabrya 2015 goda No. 410-V ZRK «O protivodeistvii korruptsii» [Law of the Republic of Kazakhstan No. 410-V "On Combating Corruption"]. Available at: <https://adilet.zan.kz/rus/> (In Russian).
- [6] Protokoly zasedanii Nablyudatel'nogo soveta RGP na PHV «Natsional'nyi tsentr ekspertizy» za 2022–2023 gody [Minutes of the Supervisory Board Meetings of the National Center of Expertise RSE on the Right of Economic Management for 2022–2023]. Available at: <https://nce.kz/ru/> (In Russian).
- [7] RGP na PHV «Natsional'nyi tsentr ekspertizy» Komiteta sanitarno-epidemiologicheskogo kontrolya Ministerstva zdravookhraneniya Respubliki Kazakhstan [National Center of Expertise RSE on the Right of Economic Management under the Committee for Sanitary and Epidemiological Control of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan]. Official website. Sections: Accreditation, International Cooperation. Available at: <https://nce.kz/ru/> (In Russian).

ЭКОНОМИКА. ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ, СОЦИАЛЬНО-ГУМАНИТАРНЫЕ И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ДИСЦИПЛИНЫ

DOI: <https://www.doi.org/10.53002/130>

PRACTICAL APPROACHES TO OPTIMIZING CORPORATE GOVERNANCE MECHANISMS IN THE SANITARY AND EPIDEMIOLOGICAL CONTROL SYSTEM OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

¹Sauletov E.S., ¹Aityshev N.B., ¹Tatieva M.M., ¹Akmaganbetova A.S., ²Nurgaliyeva A.K.

¹Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan

²Temirtau Higher Polytechnic College, Temirtau, Kazakhstan

* Corresponding author email: e.sauletov@tttu.edu.kz

Author information:

Sauletov E.S. - Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan. E-mail: e.sauletov@tttu.edu.kz

Aityshev N.B. - Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan. E-mail: n.ajtyshev@tttu.edu.kz

Tatieva M.M. - Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan. E-mail: m.tatiyeva@tttu.edu.kz

Akmaganbetova A.S. - Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan. E-mail: a.akmaganbetova@tttu.edu.kz

Nurgaliyeva A.K. - Temirtau Higher Polytechnic College, Temirtau, Kazakhstan. E-mail: assel_n80@inbox.ru

Abstract. The article discusses practical approaches to optimizing corporate governance mechanisms in the sanitary and epidemiological control system of the Republic of Kazakhstan. The purpose of the study is to analyze current corporate governance practices using the example of a state-owned sanitary and epidemiological enterprise and identify areas for its improvement. The methodological basis of the research consists of institutional and system analysis, content analysis of regulatory and management documents, as well as the comparative legal method. The empirical basis was the internal documents of the Supervisory Board of the National Center for Expertise of the Sanitary and Epidemiological Control Committee of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan. As a result of the research, practical problems in the field of strategic control, internal audit and anti-corruption compliance have been identified. The necessity of strengthening the role of the Supervisory Board and the introduction of risk-oriented management mechanisms is substantiated. The practical significance of the work lies in the possibility of using the results in improving corporate governance in sanitary and epidemiological control organizations and in the quasi-public healthcare sector of the Republic of Kazakhstan.

Keywords: corporate governance, sanitary and epidemiological control, supervisory board, internal audit, compliance, state enterprise, risk management, quasi-public sector, healthcare, Republic of Kazakhstan.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ САНИТАРЛЫҚ-ЭПИДЕМИОЛОГИЯЛЫҚ БАҚЫЛАУ ЖҮЙЕСІНДЕГІ КОРПОРАТИВТІК БАСҚАРУ ТЕТІКТЕРІН ОҢТАЙЛАНДЫРУДЫҢ ПРАКТИКАЛЫҚ ТӘСІЛДЕРІ

^{1*} Саулетов Е.С., ¹Айтышев Н.Б., ¹Татиева М.М., ¹Ақмағанбетова А.С., ²Нурғалиева А.К.

¹Қарағанды Индустриялық Университеті, Теміртау, Қазақстан

²Теміртау жоғары политехникалық колледжі, Теміртау, Қазақстан

* Автор-корреспондент e-mail: e.sauletov@tttu.edu.kz

Авторлар туралы ақпарат:

Саулетов Е.С. - Қарағанды Индустриялық Университеті, Теміртау, Қазақстан. E-mail: e.sauletov@tttu.edu.kz

Айтышев Н.Б. - Қарағанды Индустриялық Университеті, Теміртау, Қазақстан. E-mail: n.ajtyshev@tttu.edu.kz

Татиева М.М. - Қарағанды Индустриялық Университеті, Теміртау, Қазақстан. E-mail: m.tatiyeva@tttu.edu.kz

Ақмағанбетова А.С. - Қарағанды Индустриялық Университеті, Теміртау, Қазақстан. E-mail:

a.akmaganbetova@tttu.edu.kz

Нурғалиева А.К. - Теміртау жоғары политехникалық колледжі, Теміртау, Қазақстан. E-mail: assel_n80@inbox.ru

Аңдатпа. Мақалада Қазақстан Республикасының санитарлық-эпидемиологиялық бақылау жүйесіндегі корпоративтік басқару тетіктерін оңтайландырудың практикалық тәсілдері қарастырылады. Зерттеудің мақсаты санитарлық-эпидемиологиялық бейіндегі мемлекеттік кәсіпорын мысалында корпоративтік басқаруды жүргізудің қолданыстағы тәжірибесін талдау және оны жетілдіру бағыттарын анықтау болып табылады. Зерттеудің әдіснамалық негізі институционалдық және жүйелік талдау, нормативтік және басқару құжаттарының контент-талдауы, сондай-ақ салыстырмалы-құқықтық әдіс болып табылады. Қазақстан Республикасы Денсаулық сақтау министрлігі Санитарлық-эпидемиологиялық бақылау комитетінің «Ұлттық сараптама орталығы» ШЖҚ РМК Бақылау кеңесінің ішкі құжаттары эмпирикалық база болды. Зерттеу нәтижесінде стратегиялық бақылау, Ішкі аудит және сыбайлас жемқорлыққа қарсы комплаенс саласындағы практикалық проблемалар анықталды. Бақылау кеңесінің рөлін күшейту және тәуекелге бағдарланған басқару тетіктерін енгізу қажеттілігі негізделген. Жұмыстың практикалық маңыздылығы санитариялық-эпидемиологиялық бақылау ұйымдарында және Қазақстан Республикасының денсаулық сақтаудың квазимемлекеттік секторында корпоративтік басқаруды жетілдіру кезінде нәтижелерді пайдалану мүмкіндігінде жатыр.

Түйін сөздер: корпоративтік басқару, санитарлық-эпидемиологиялық бақылау, Бақылау кеңесі, Ішкі аудит, комплаенс, мемлекеттік кәсіпорын, тәуекелдерді басқару, квазимемлекеттік сектор, денсаулық сақтау, Қазақстан Республикасы.

ПРАКТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОПТИМИЗАЦИИ МЕХАНИЗМОВ КОРПОРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ САНИТАРНО- ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

^{1*} Саулетов Е.С., ¹Айтышев Н.Б., ¹Татиева М.М., ¹Акмаганбетова А.С., ²Нурғалиева А.К.

¹Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

²Темиртауский высший политехнический колледж Темиртау, Казахстан

* Автор-корреспондент e-mail: e.sauletov@tttu.edu.kz

Информация об авторах:

Саулетов Е.С. - Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан. E-mail: e.sauletov@tttu.edu.kz

Айтышев Н.Б. - Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан. E-mail: n.ajtyshhev@tttu.edu.kz

Татиева М.М. - Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан. E-mail: m.tatiyeva@tttu.edu.kz

Акмаганбетова А.С. - Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан. E-mail: a.akmaganbetova@tttu.edu.kz

Нурғалиева А.К. - Темиртауский высший политехнический колледж Темиртау, Казахстан. E-mail: assel_n80@inbox.ru

Аннотация. В статье рассматриваются практические подходы к оптимизации механизмов корпоративного управления в системе санитарно-эпидемиологического контроля Республики Казахстан. Цель исследования заключается в анализе действующей практики ведения корпоративного управления на примере государственного предприятия санитарно-эпидемиологического профиля и выявлении направлений ее совершенствования. Методологическую основу исследования составляют институциональный и системный анализ, контент-анализ нормативных и управленческих документов, а также сравнительно-правовой метод. Эмпирической базой послужили внутренние документы Наблюдательного совета РГП на ПХВ «Национальный центр экспертизы» Комитета санитарно-эпидемиологического контроля Министерства здравоохранения Республики Казахстан. В результате исследования выявлены практические проблемы в сфере стратегического контроля, внутреннего аудита и антикоррупционного комплаенса. Обоснована необходимость усиления роли Наблюдательного совета и внедрения риск-ориентированных механизмов управления. Практическая значимость работы заключается в возможности использования результатов при совершенствовании корпоративного управления в организациях санитарно-эпидемиологического контроля и в квазигосударственном секторе здравоохранения Республики Казахстан.

Ключевые слова: корпоративное управление, санитарно-эпидемиологический контроль, наблюдательный совет, внутренний аудит, комплаенс, государственное предприятие, управление рисками, квазигосударственный сектор, здравоохранение, Республика Казахстан.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Практика корпоративного управления в системе санитарно-эпидемиологического контроля Республики Казахстан демонстрирует постепенный переход от формального соблюдения нормативных требований к развитию риск-ориентированной модели управления, основанной на усилении стратегической роли Наблюдательного совета, внутреннего аудита и антикоррупционного комплаенса.

Анализ деятельности РГП на ПХВ «Национальный центр экспертизы» показал, что эффективность корпоративного управления определяется не только наличием институциональных механизмов контроля, но и уровнем их практической реализации, информационной прозрачности, независимости контрольных функций и интеграции управления рисками в процессы принятия управленческих решений. Оптимизация механизмов корпоративного управления требует комплексного совершенствования системы стратегического контроля, развития риск-ориентированного управления, повышения прозрачности корпоративных процедур, укрепления независимости внутреннего аудита и комплаенс-службы, а также формирования единой системы корпоративного управления в организациях санитарно-эпидемиологического контроля Республики Казахстан.

ВВЕДЕНИЕ

Корпоративное управление в системе санитарно-эпидемиологического контроля Республики Казахстан является важным институциональным фактором устойчивости и результативности деятельности государственных предприятий, осуществляющих функции в сфере охраны общественного здоровья. В условиях реализации санитарно-эпидемиологических мероприятий эффективность управленческих решений оказывает прямое влияние не только на финансово-экономические показатели предприятий, но и на уровень санитарной безопасности населения. В этой связи корпоративное управление приобретает междисциплинарный характер, объединяя правовые, экономические и управленческие аспекты деятельности государственных организаций [1].

Особенностью предприятий санитарно-эпидемиологического профиля является сочетание публичных функций и хозяйственной самостоятельности, реализуемой в форме права хозяйственного ведения. Такая модель предполагает повышенные требования к прозрачности, подотчетности и качеству

стратегического управления, что закреплено в законодательстве Республики Казахстан о государственном имуществе и подзаконных нормативных актах [1], [2]. Практика показывает, что формальное наличие органов корпоративного управления не всегда обеспечивает их реальную эффективность, что обуславливает необходимость анализа фактических управленческих механизмов. Основным элементом корпоративного управления в государственных предприятиях является Наблюдательный совет, на который возложены функции стратегического контроля, оценки деятельности исполнительного органа и защиты интересов собственника. В системе санитарно-эпидемиологического контроля данные функции приобретают особую значимость ввиду высокого уровня управленческих и репутационных рисков. Целью настоящей статьи является анализ практики ведения корпоративного управления на примере РГП на ПХВ «Национальный центр экспертизы» Комитета санитарно-эпидемиологического контроля Министерства здравоохранения Республики Казахстан и формирование научно обоснованных выводов о направлениях оптимизации действующих механизмов [3], [10].

Пробел в исследованиях. Несмотря на развитие исследований в области корпоративного управления государственными предприятиями и квазигосударственным сектором, вопросы практической оптимизации механизмов корпоративного управления в системе санитарно-эпидемиологического контроля Республики Казахстан остаются недостаточно изученными. Большинство существующих исследований посвящено нормативно-правовым аспектам корпоративного управления, организационной структуре или отдельным элементам внутреннего контроля, тогда как комплексный анализ практического функционирования наблюдательного совета, внутреннего аудита, антикоррупционного комплаенса и риск-ориентированного управления представлен ограниченно. Недостаточно раскрыты механизмы их взаимодействия в условиях специализированных государственных организаций санитарно-эпидемиологического профиля, а также влияние данных механизмов на эффективность стратегического управления. Это обуславливает необходимость разработки научно обоснованных практических подходов к оптимизации корпоративного управления с учетом современных требований к прозрачности, подотчетности и управлению рисками.

Научная новизна. Научная новизна исследования заключается в комплексной оценке практического функционирования механизмов корпоративного управления в системе санитарно-эпидемиологического контроля Республики Казахстан на основе анализа деятельности специализированного государственного предприятия. В отличие от существующих исследований, основное внимание уделено не только нормативно-правовым аспектам корпоративного управления, но и практической реализации функций Наблюдательного совета, внутреннего аудита, антикоррупционного комплаенса и риск-ориентированного управления. На основе проведенного анализа выявлены ключевые организационные ограничения действующей модели корпоративного управления и предложены практические подходы к их оптимизации, направленные на повышение эффективности стратегического управления, прозрачности, подотчетности и устойчивости деятельности организаций санитарно-эпидемиологического контроля.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ.

Методологическую основу исследования составляют институциональный анализ и системный подход, позволяющие рассматривать корпоративное управление как совокупность формальных норм, управленческих процедур и фактических практик их реализации. Контент-анализ применялся при изучении внутренних регламентов, планов работы, протоколов заседаний и отчетных документов Наблюдательного совета, что позволило выявить реальное содержание управленческих процессов и степень их соответствия нормативным требованиям [3-9].

Эмпирическую базу исследования образуют Положение о Наблюдательном совете, Положение о секретаре Наблюдательного совета, планы работы Наблюдательного совета за 2022 год, протоколы очных и заочных заседаний за 2022 год, а также отчет о проделанной работе секретаря Наблюдательного совета за 2023 год [3], [4], [5], [6-10]. Сравнительно-правовой метод использовался для сопоставления фактической практики корпоративного управления с требованиями законодательства Республики Казахстан и ведомственных нормативных актов в сфере здравоохранения [1], [2].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.

Практика ведения корпоративного управления в РГП на ПХВ «Национальный центр экспертизы» в 2023 году характеризуется

усилением роли Наблюдательного совета как реально действующего органа стратегического контроля. Анализ отчетных материалов показывает, что за отчетный период проведено восемь заседаний, рассмотрено 34 вопроса и принято 70 управленческих решений, что свидетельствует о росте интенсивности и содержательности деятельности Наблюдательного совета [10]. Данная практика указывает на переход от формального надзора к системному участию в управлении предприятием.

Содержательный анализ повесток заседаний Наблюдательного совета позволяет выделить приоритетность вопросов внутреннего аудита и управления рисками. В практической плоскости это выразилось в утверждении обновленных правил внутреннего аудита и политики управления рисками, направленных на профилактику нарушений и снижение вероятности финансовых и операционных потерь [3], [6]. Такой подход отражает внедрение риск-ориентированной модели корпоративного управления, при которой контроль осуществляется не постфактум, а на стадии выявления потенциальных угроз.

Значительное внимание в практике корпоративного управления уделено вопросам антикоррупционного комплаенса. Протоколы заседаний Наблюдательного совета за 2022 год фиксируют выявление несоответствия организационного подчинения комплаенс-службы требованиям законодательства о противодействии коррупции [6-9]. Факт вынесения данного вопроса на уровень Наблюдательного совета и обсуждение путей его устранения свидетельствуют о функционировании механизма институционального самоконтроля и ориентации на соблюдение принципов независимости и подотчетности [1].

Практическое значение в системе корпоративного управления имеет деятельность секретаря Наблюдательного совета. Анализ Положения о секретаре и отчета о его деятельности показывает, что данная функция выходит за рамки формального документооборота и выполняет роль организационного координатора корпоративных процессов [4], [10]. Секретарь обеспечивает подготовку заседаний, контроль исполнения решений, ведение протоколов и информационное взаимодействие между Наблюдательным советом и исполнительным органом, что способствует устойчивости управленческих процедур и снижению рисков несоблюдения решений Наблюдательного совета.

Таблица 1 – Практические направления оптимизации механизмов корпоративного управления в системе санитарно-эпидемиологического контроля Республики Казахстан

Выявленный механизм	Практическая проблема	Предлагаемое направление оптимизации	Ожидаемый эффект
Наблюдательный совет	Ограниченное участие в стратегическом управлении	Расширение стратегических функций, регулярный мониторинг ключевых показателей деятельности	Повышение качества стратегических решений
Внутренний аудит	Контроль преимущественно финансовых аспектов деятельности	Внедрение риск-ориентированного внутреннего аудита и оценки эффективности бизнес-процессов	Снижение управленческих и операционных рисков
Комплаенс-служба	Недостаточная организационная независимость	Обеспечение функциональной подотчетности Наблюдательному совету	Усиление антикоррупционного контроля и прозрачности
Управление рисками	Формальный характер оценки рисков	Интеграция риск-менеджмента в процессы стратегического и операционного управления	Повышение устойчивости организации
Информационное обеспечение	Недостаточная аналитическая поддержка управленческих решений	Развитие цифровой системы корпоративной отчетности и мониторинга	Повышение оперативности и обоснованности управленческих решений
Кадровый потенциал	Недостаточный уровень компетенций в области корпоративного управления	Систематическое обучение руководителей, членов Наблюдательного совета и специалистов служб внутреннего контроля	Повышение эффективности корпоративного управления

Сопоставление выявленных практик с положениями законодательства и научными подходами к корпоративному управлению в квазигосударственном секторе подтверждает их соответствие общим принципам эффективного управления государственным имуществом [1], [2]. Вместе с тем анализ показывает, что именно практическая реализация контрольных и надзорных функций определяет реальный уровень зрелости корпоративного управления, особенно в сфере санитарно-эпидемиологического контроля, где управленческие ошибки могут иметь значимые социальные последствия. Логическим продолжением указанного вывода является выделение проблем и ограничений, которые сохраняются даже при наличии формально закрепленных институтов корпоративного управления и определяют направления их дальнейшей оптимизации.

Проблемы и ограничения в действующих механизмах корпоративного управления в системе санитарно-эпидемиологического контроля Республики Казахстан носят комплексный характер и обусловлены как институциональными, так и организационно-управленческими факторами. Несмотря на формальное наличие всех базовых элементов корпоративного управления, включая наблюдательный совет, службу внутреннего аудита и комплаенс-функцию, их практическая реализация сталкивается с рядом устойчивых ограничений.

Анализ данных, представленных в таблице 1, показывает, что повышение эффективности корпоративного управления в системе санитарно-эпидемиологического контроля требует комплексного совершенствования институциональных и организационно-управленческих механизмов. Наибольшее значение имеют усиление стратегической роли Наблюдательного совета, внедрение риск-ориентированного подхода, обеспечение независимости контрольных функций и развитие современных механизмов корпоративного мониторинга. Реализация предложенных направлений позволит повысить прозрачность, подотчетность и устойчивость деятельности государственных организаций санитарно-эпидемиологического профиля. Одной из существенных проблем является недостаточная зрелость риск-ориентированного подхода в управлении. На практике управление рисками часто носит формальный характер и ограничивается разработкой политик и карт рисков без их полноценной интеграции в процессы стратегического и операционного

управления. Это приводит к тому, что выявленные риски не всегда учитываются при принятии управленческих решений, а меры по их минимизации реализуются несистемно и с опозданием.

Существенным ограничением остается фрагментарность системы внутреннего контроля. В ряде случаев контрольные процедуры сосредоточены преимущественно на финансовой отчетности и соблюдении формальных требований, тогда как оценка эффективности бизнес-процессов и управленческих решений осуществляется недостаточно глубоко. Это снижает способность системы внутреннего контроля своевременно выявлять причины отклонений и предотвращать повторение системных нарушений, особенно в деятельности территориальных подразделений и филиалов.

Отдельной проблемой является ограниченная независимость отдельных контрольных функций. В частности, антикоррупционные комплаенс-службы в практике квазигосударственного сектора нередко организационно подчиняются исполнительному органу, что снижает их объективность и противоречит принципам подотчетности и независимого контроля. Аналогичные риски могут возникать и в деятельности службы внутреннего аудита при недостаточно четком разграничении полномочий между исполнительным органом и наблюдательным советом.

Недостаточная информационная прозрачность также выступает ограничивающим фактором корпоративного управления. Наблюдательный совет не всегда располагает полной, своевременной и аналитически обработанной информацией, необходимой для оценки реального состояния дел в организации. В результате контроль и стратегический надзор могут носить реактивный, а не проактивный характер, что снижает эффективность корпоративного управления в целом. Еще одной проблемой является кадровый аспект корпоративного управления. Неравномерный уровень компетенций управленческого и финансово-экономического персонала, особенно в филиальной сети, ограничивает реализацию единых стандартов управления и контроля. Недостаточное внимание к системному обучению и развитию кадров в области корпоративного управления, внутреннего контроля и риск-менеджмента усиливает зависимость качества управления от отдельных специалистов.

В совокупности выявленные проблемы и ограничения свидетельствуют о том, что действующие механизмы корпоративного управления в системе санитарно-

эпидемиологического контроля требуют дальнейшего институционального и функционального развития. Преодоление данных ограничений возможно при условии усиления роли наблюдательного совета, углубления риск-ориентированного подхода, обеспечения реальной независимости контрольных функций и повышения прозрачности управленческих процессов.

ВЫВОДЫ

В результате проведенного исследования установлено, что практика ведения корпоративного управления в системе санитарно-эпидемиологического контроля Республики Казахстан характеризуется постепенной институционализацией контрольных и надзорных механизмов. Оптимизация корпоративного управления осуществляется через усиление роли Наблюдательного совета, внедрение риск-ориентированного внутреннего аудита и формирование независимого антикоррупционного комплаенса в соответствии с требованиями законодательства Республики Казахстан [1], [2].

Научная новизна работы заключается в комплексном анализе реальной практики корпоративного управления специализированного государственного предприятия санитарно-эпидемиологического профиля на основе первичных управленческих документов [3-10]. Практическая значимость результатов состоит в возможности их использования при корректировке внутренних регламентов корпоративного управления организаций санитарно-эпидемиологического контроля, а также при разработке рекомендаций для уполномоченных органов по повышению эффективности деятельности Наблюдательных советов в квазигосударственном секторе здравоохранения Республики Казахстан.

Авторский вклад (таксономия CRediT):

Саулетов Е.С. – концептуализация исследования, разработка методологии, руководство исследованием, анализ результатов, подготовка первоначального варианта рукописи. **Айтышев Н.Б.** – сбор и анализ нормативных и управленческих материалов, исследование практики корпоративного управления, формальный анализ, участие в интерпретации результатов исследования. **Татиева М.М.** – обработка и интерпретация данных, анализ документов, подготовка таблиц, аналитических материалов и визуализация результатов исследования. **Акмаганбетова А.С.** – анализ научной литературы, участие в обсуждении результатов исследования, научное

редактирование и критический пересмотр содержания статьи. **Нургалиева А.К.** – проверка достоверности результатов исследования, оформление рукописи, языковое и техническое редактирование, подготовка окончательной версии статьи. Все авторы ознакомились с окончательной версией рукописи, одобрили её содержание, согласны с публикацией и несут ответственность за достоверность представленных результатов.

Финансирование. Исследование выполнено без привлечения внешнего финансирования.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности. Авторы выражают благодарность РГП на ПХВ «Национальный центр экспертизы» Комитета санитарно-эпидемиологического контроля Министерства

здравоохранения Республики Казахстан за предоставленные открытые нормативные, организационные и информационные материалы, использованные при подготовке настоящего исследования. Авторы также благодарят коллег Карагандинского индустриального университета за конструктивное обсуждение результатов исследования и экспертную поддержку.

Авторское право © 2026 принадлежит автору(ам). Данная статья распространяется на условиях открытого доступа в соответствии с лицензией Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0). Лицензия разрешает свободное использование, распространение и воспроизведение материала в любой форме при условии обязательного указания авторства и сохранения аналогичной лицензии для производных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Закон Республики Казахстан от 1 марта 2011 года № 413-IV «О государственном имуществе».–Астана: 2011. <https://adilet.zan.kz/rus/>

[2] Приказ Председателя Комитета контроля качества и безопасности товаров и услуг Министерства здравоохранения Республики Казахстан от 24 июля 2019 года № 155-НҚ «Об утверждении Положения о наблюдательном совете и Правил созыва и проведения заседаний наблюдательного совета республиканского государственного предприятия на праве хозяйственного ведения «Национальный центр экспертизы» Комитета санитарно-эпидемиологического контроля Министерства здравоохранения Республики Казахстан».– URL: <https://nce.kz/ru/>

[3] Положение о наблюдательном совете республиканского государственного предприятия на праве хозяйственного ведения «Национальный центр экспертизы» Комитета санитарно-эпидемиологического контроля Министерства здравоохранения Республики Казахстан. Утверждено приказом от 24.07.2019 № 155-НҚ. – URL: <https://nce.kz/ru/>

[4] Положение о секретаре наблюдательного совета республиканского государственного предприятия на праве хозяйственного ведения «Национальный центр экспертизы» Комитета санитарно-эпидемиологического контроля Министерства здравоохранения Республики Казахстан. Утверждено решением Наблюдательного совета от 01.11.2019 года. – URL: <https://nce.kz/ru/>

[5] План работы Наблюдательного совета РГП на ПХВ «Национальный центр экспертизы» Комитета санитарно-эпидемиологического контроля Министерства здравоохранения Республики Казахстан на 2022 год. – URL: <https://nce.kz/ru/>

[6] Протокол очного заседания Наблюдательного совета РГП на ПХВ «Национальный центр экспертизы» от 26 августа 2022 года № 31. – URL: <https://nce.kz/ru/>

[7] Протокол очного заседания Наблюдательного совета РГП на ПХВ «Национальный центр экспертизы» от 09 декабря 2022 года № 33. – URL: <https://nce.kz/ru/>

[8] Решение заочного заседания Наблюдательного совета РГП на ПХВ «Национальный центр экспертизы» от 01 июня 2022 года № 28. – URL: <https://nce.kz/ru/>

[9] Решение заочного заседания Наблюдательного совета РГП на ПХВ «Национальный центр экспертизы» от 05 июля 2022 года № 30. – URL: <https://nce.kz/ru/>

[10] Отчет о проделанной работе секретаря Наблюдательного совета РГП на ПХВ «Национальный центр экспертизы» за 2023 год. Внутренний отчетный документ. – URL: <https://nce.kz/ru/>

REFERENCES

[1] Zakon Respubliki Kazakhstan ot 1 marta 2011 goda No. 413-IV «O gosudarstvennom imushchestve» [Law of the Republic of Kazakhstan No. 413-IV "On State Property"]. Astana, 2011. Available at: <https://adilet.zan.kz/rus/> (In Russian).

[2] Prikaz Predsedatelya Komiteta kontrolya kachestva i bezopasnosti tovarov i uslug Ministerstva zdavoookhraneniya Respubliki Kazakhstan ot 24 iyulya 2019 goda No. 155-NQ «Ob utverzhdenii Polozheniya o Nablyudatel'nom sovete i Pravil sozyva i provedeniya zasedanii Nablyudatel'nogo soveta respublikanskogo gosudarstvennogo predpriyatiya na prave khozyaistvennogo vedeniya "Natsional'nyi tsentr ekspertizy" Komiteta

sanitarno-epidemiologicheskogo kontrolya Ministerstva zdravookhraneniya Respubliki Kazakhstan» [Order of the Chairman of the Committee for Quality and Safety Control of Goods and Services of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan No. 155-NQ "On Approval of the Regulation on the Supervisory Board and the Rules for Convening and Holding Meetings of the Supervisory Board of the National Center of Expertise"]. Available at: <https://nce.kz/ru/> (In Russian).

[3] Polozhenie o Nablyudatel'nom sovete respublikanskogo gosudarstvennogo predpriyatiya na prave khozyaistvennogo vedeniya «Natsional'nyi tsentr ekspertizy» Komiteta sanitarno-epidemiologicheskogo kontrolya Ministerstva zdravookhraneniya Respubliki Kazakhstan [Regulation on the Supervisory Board of the National Center of Expertise RSE on the Right of Economic Management]. Approved by Order No. 155-NQ dated 24 July 2019. Available at: <https://nce.kz/ru/> (In Russian).

[4] Polozhenie o sekretare Nablyudatel'nogo soveta respublikanskogo gosudarstvennogo predpriyatiya na prave khozyaistvennogo vedeniya «Natsional'nyi tsentr ekspertizy» Komiteta sanitarno-epidemiologicheskogo kontrolya Ministerstva zdravookhraneniya Respubliki Kazakhstan [Regulation on the Secretary of the Supervisory Board of the National Center of Expertise RSE on the Right of Economic Management]. Approved by the Supervisory Board decision dated 1 November 2019. Available at: <https://nce.kz/ru/> (In Russian).

[5] Plan raboty Nablyudatel'nogo soveta RGP na PHV «Natsional'nyi tsentr ekspertizy» Komiteta sanitarno-epidemiologicheskogo kontrolya Ministerstva zdravookhraneniya Respubliki Kazakhstan na 2022 god [Work Plan of the Supervisory Board of the National Center of Expertise for 2022]. Available at: <https://nce.kz/ru/> (In Russian).

[6] Protokol ochnogo zasedaniya Nablyudatel'nogo soveta RGP na PHV «Natsional'nyi tsentr ekspertizy» ot 26 avgusta 2022 goda No. 31 [Minutes of the Supervisory Board Meeting No. 31, 26 August 2022]. Available at: <https://nce.kz/ru/> (In Russian).

[7] Protokol ochnogo zasedaniya Nablyudatel'nogo soveta RGP na PHV «Natsional'nyi tsentr ekspertizy» ot 9 dekabrya 2022 goda No. 33 [Minutes of the Supervisory Board Meeting No. 33, 9 December 2022]. Available at: <https://nce.kz/ru/> (In Russian).

[8] Reshenie zaochnogo zasedaniya Nablyudatel'nogo soveta RGP na PHV «Natsional'nyi tsentr ekspertizy» ot 1 iyunya 2022 goda No. 28 [Resolution of the Supervisory Board Correspondence Meeting No. 28, 1 June 2022]. Available at: <https://nce.kz/ru/> (In Russian).

[9] Reshenie zaochnogo zasedaniya Nablyudatel'nogo soveta RGP na PHV «Natsional'nyi tsentr ekspertizy» ot 5 iyulya 2022 goda No. 30 [Resolution of the Supervisory Board Correspondence Meeting No. 30, 5 July 2022]. Available at: <https://nce.kz/ru/> (In Russian).

[10] Otchet o prodelannoi rabote sekretarya Nablyudatel'nogo soveta RGP na PHV «Natsional'nyi tsentr ekspertizy» za 2023 god [Report on the Activities of the Secretary of the Supervisory Board of the National Center of Expertise for 2023]. Internal report. Available at: <https://nce.kz/ru/> (In Russian).

ECONOMY. GENERAL EDUCATION, SOCIO-HUMANITARIAN AND FUNDAMENTAL DISCIPLINES

DOI: <https://www.doi.org/10.53002/133>

MORTGAGE LENDING IN KAZAKHSTAN: CURRENT TRENDS, CHALLENGES, AND FUTURE DEVELOPMENT PROSPECTS

¹Turabaeva M.B., ¹Turgumbayeva G.T., ²Hijriani H., ^{1*}Baimuratov R.B.

¹Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan

²Sulawesi Tenggara University, Indonesia

*Corresponding author e-mail: r.baymuratov@tttu.edu.kz

Author information:

Turabaeva M. B. – Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan. E-mail: m.turabaeva@mail.ru

Turgumbayeva G. T. – Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan. E-mail: g.turgumbayeva@tttu.edu.kz

Hijriani H. - Master of Law Program, Postgraduate School, Sulawesi Tenggara University, Indonesia. Email: hijriani@gmail.com

Baimuratov R. B. – Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan. E-mail: r.baymuratov@tttu.edu.kz

Abstract. Mortgage lending plays a fundamental role in improving housing affordability, supporting financial sector development, and fostering sustainable economic growth. In Kazakhstan, the mortgage market has undergone significant transformation over the past decade, driven by government housing initiatives, changes in monetary policy, and evolving macroeconomic conditions. Despite considerable market expansion, challenges such as high interest rates, inflationary pressures, regional disparities in housing affordability, and continued dependence on government-supported programs constrain the long-term sustainability of mortgage market development.

Keywords: mortgage lending; housing finance; housing affordability; banking sector; government housing policy; macroeconomic factors; financial stability; Kazakhstan.

ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ ИПОТЕКАЛЫҚ НЕСИЕЛЕУ: ҚАЗІРГІ ҮРДІСТЕРІ, ПРОБЛЕМАЛАРЫ ЖӘНЕ ДАМУ ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ

¹Турабаева М.Б., ¹Тұрғымбаева Г.Т., ²Нижриани Н., ^{1*}Баймұратов Р.Б.

¹ Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан

² Суловеси Тенггара университеті, Индонезия

* Автор-корреспондент e-mail: r.baymuratov@tttu.edu.kz

Авторлар туралы мәліметтер:

Турабаева М. Б. – Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан. E-mail: m.turabaeva@mail.ru

Тұрғымбаева Г. Т. – Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан. E-mail: g.turgumbayeva@tttu.edu.kz

Hijriani H. – Құқық магистрі бағдарламасының магистранты, Жоғары мектеп, Суловеси Тенггара университеті, Индонезия. E-mail: hijriani@gmail.com

Баймұратов Р. Б. – Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан. E-mail: r.baymuratov@tttu.edu.kz

Аңдатпа. Ипотекалық несиелеу тұрғын үйдің қолжетімділігін арттыруда, қаржы секторын дамытуда және тұрақты экономикалық өсуді қамтамасыз етуде маңызды рөл атқарады. Соңғы онжылдықта Қазақстанның ипотекалық нарығы мемлекеттік тұрғын үй бағдарламаларының, ақша-кредит саясатының өзгерістерінің және макроэкономикалық жағдайдың ықпалымен елеулі өзгерістерге ұшырады. Нарықтың айтарлықтай кеңеюіне қарамастан, жоғары пайыздық мөлшерлемелер, инфляциялық қысым, тұрғын үй қолжетімділігіндегі өңірлік айырмашылықтар және мемлекеттік қолдау бағдарламаларына тәуелділіктің сақталуы ипотекалық нарықтың ұзақ мерзімді тұрақты дамуын шектеуді жалғастыруда.

Түйін сөздер: ипотекалық несиелеу; тұрғын үйді қаржыландыру; тұрғын үйдің қолжетімділігі; банк секторы; мемлекеттік тұрғын үй саясаты; макроэкономикалық факторлар; қаржылық тұрақтылық; Қазақстан.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИПОТЕЧНОГО КРЕДИТОВАНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН

¹Турабаева М.Б., ¹Тұрғымбаева Г.Т., ²Hijriani H., ^{1*}Баймұратов Р.Б.

¹ Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

² Университет Сулавеси Тенггара, Индонезия

*Автор-корреспондент e-mail: r.baymuratov@tttu.edu.kz

Сведения об авторах

Турабаева М. Б. – Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан. E-mail: m.turabaeva@mail.ru

Тұрғымбаева Г. Т. – Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан. E-mail: g.turgumbayeva@tttu.edu.kz

Hijriani H. – магистрант программы «Магистр права», Высшая школа, Университет Сулавеси Тенггара, Индонезия. E-mail: hijriani@gmail.com

Баймұратов Р. Б. – Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан. E-mail: r.baymuratov@tttu.edu.kz

Аннотация. Ипотечное кредитование играет важную роль в повышении доступности жилья, развитии финансового сектора и обеспечении устойчивого экономического роста. За последнее десятилетие ипотечный рынок Казахстана претерпел значительные изменения под влиянием государственных жилищных программ, изменений денежно-кредитной политики и трансформации макроэкономической среды. Несмотря на существенное расширение рынка, такие факторы, как высокие процентные ставки, инфляционное давление, региональные различия в доступности жилья и сохраняющаяся зависимость от государственных программ поддержки, продолжают ограничивать долгосрочную устойчивость развития ипотечного рынка.

Ключевые слова: ипотечное кредитование; жилищное финансирование; доступность жилья; банковский сектор; государственная жилищная политика; макроэкономические факторы; финансовая стабильность; Казахстан.

MAIN PROVISION

This study examines the current state and future development prospects of mortgage lending in Kazakhstan under changing macroeconomic conditions. The research identifies the key institutional, economic, and policy factors influencing housing finance and mortgage market sustainability. The findings demonstrate the significant role of government housing programs in improving mortgage accessibility while highlighting the risks associated with excessive dependence on state support. Policy recommendations are proposed to strengthen financial stability, improve housing affordability, and enhance the long-term resilience of Kazakhstan's mortgage market. The study contributes to the growing literature on housing finance in emerging economies by providing an integrated assessment of mortgage market development.

INTRODUCTION

Housing is widely recognized as one of the fundamental components of social welfare and sustainable economic development. Access to affordable housing significantly influences living standards, social stability, labor mobility, and long-term economic growth. Consequently, mortgage lending has become an essential financial mechanism that enables households to purchase residential

property while simultaneously stimulating investment in the construction and banking sectors. Globally, mortgage finance constitutes one of the largest segments of financial markets. Well-developed mortgage systems contribute not only to expanding homeownership but also to strengthening financial stability through efficient capital allocation and long-term investment mechanisms. However, mortgage markets are highly sensitive to macroeconomic conditions, including inflation, interest rate fluctuations, monetary policy decisions, household income, and housing price dynamics. The recent tightening of monetary policy in many countries has renewed interest in evaluating the sustainability and resilience of national mortgage markets [1].

In Kazakhstan, mortgage lending has become a key component of housing policy since the early 2000s. Government-supported programs such as 7–20–25, *Baspana Hit*, and *Nurly Zher* have substantially expanded access to housing finance and stimulated residential construction. These initiatives have contributed to the growth of mortgage portfolios, improved housing affordability for specific population groups, and supported economic activity in the construction industry. Nevertheless, the mortgage market continues to face several structural challenges, including relatively high lending rates,

inflationary pressures, regional disparities in housing affordability, increasing household debt burdens, and dependence on government support mechanisms. These issues create uncertainty regarding the long-term sustainability of mortgage market development. The original article also highlights the role of government housing programs, macroeconomic instability, and interest-rate changes as key determinants of mortgage lending in Kazakhstan [2].

Although previous studies have examined various aspects of mortgage lending in Kazakhstan, most have focused on individual dimensions such as banking performance, state housing programs, or regulatory policies. Limited attention has been paid to the integrated interaction between macroeconomic conditions, financial institutions, and government intervention in shaping the long-term development of the mortgage market. Moreover, recent changes in monetary policy and economic conditions require an updated assessment of mortgage-lending performance and prospects. Therefore, this study aims to examine the current state of mortgage lending in Kazakhstan by analyzing the influence of macroeconomic, institutional, and policy factors on mortgage market development. The study also identifies the major challenges affecting housing finance and proposes strategic directions for strengthening the sustainability, accessibility, and efficiency of Kazakhstan's mortgage lending system [3].

Research Gap. Despite numerous studies on mortgage lending and housing finance in Kazakhstan, limited research has comprehensively examined the combined influence of macroeconomic factors, banking sector performance, and government housing policies on the long-term sustainability of the mortgage market. Existing studies predominantly analyze individual components of mortgage finance without adequately investigating their dynamic interactions under changing economic conditions. Therefore, a comprehensive assessment of Kazakhstan's mortgage lending system is necessary to identify current challenges, evaluate policy effectiveness, and formulate evidence-based recommendations for sustainable market development.

Research Novelty. The scientific novelty of this study lies in providing an integrated assessment of mortgage lending development in Kazakhstan through the combined analysis of macroeconomic conditions, government housing policy, and banking sector performance. Unlike previous studies that primarily focused on individual aspects of mortgage finance, this research examines the interrelationships among monetary policy, housing affordability,

institutional regulation, and financial stability. Furthermore, the study proposes policy recommendations aimed at improving the sustainability and long-term resilience of Kazakhstan's mortgage market under changing economic conditions.

LITERATURE REVIEW

Mortgage lending has long been recognized as one of the primary mechanisms for improving housing affordability and promoting sustainable economic development. Efficient mortgage systems facilitate long-term capital allocation, stimulate residential construction, and contribute to financial market stability. At the same time, mortgage markets remain highly sensitive to macroeconomic conditions, including inflation, monetary policy, employment, and household income, making them an important subject of economic and financial research. International studies suggest that sustainable mortgage market development depends on a balanced interaction between financial institutions, government regulation, and macroeconomic stability. According to the Organisation for Economic Co-operation and Development [4, 5], effective housing finance systems should combine market-based lending with targeted government support to improve housing accessibility while minimizing systemic financial risks. Similarly, the World Bank (2024) emphasizes that mortgage market resilience largely depends on stable monetary policy, responsible lending practices, and well-developed financial institutions [5, 6].

Recent empirical research has demonstrated that rising policy interest rates significantly reduce mortgage demand and housing affordability while increasing borrowing costs for households [7]. Inflationary pressures further complicate mortgage financing by reducing household purchasing power and increasing financial uncertainty. Consequently, many countries have introduced subsidized mortgage programs, preferential lending schemes, and targeted housing policies to maintain housing affordability during periods of economic instability. Kazakhstan has experienced substantial growth in mortgage lending over the past two decades. Government initiatives, including the 7–20–25, *Baspana Hit*, and *Nurly Zher* programs, have expanded access to housing finance and stimulated residential construction. These programs have played a significant role in increasing mortgage portfolios and supporting housing demand. Nevertheless, several studies indicate that Kazakhstan's mortgage market remains highly dependent on government intervention, while commercial mortgage products

remain relatively expensive because of high interest rates and inflation [8].

The foundations of the modern mortgage system in Kazakhstan were established in the early 2000s through legislative reforms and the introduction of specialized housing finance mechanisms. Baybulekova and Kozhakhmetova analyzed the evolution of mortgage lending in Kazakhstan and emphasized the importance of effective credit risk management and government housing programs for sustainable market development [8, 9, 10]. The original article likewise identifies government support programs, interest rate policy, household income, and macroeconomic conditions as the principal factors influencing mortgage lending in Kazakhstan. Although previous studies have investigated individual aspects of mortgage lending, relatively limited attention has been devoted to the integrated assessment of institutional, macroeconomic, and policy factors affecting the long-term sustainability of Kazakhstan's mortgage market. Existing research has primarily focused on descriptive analyses of housing programs or banking activities, with comparatively less emphasis on the interaction between monetary policy, housing affordability, financial stability, and mortgage market resilience under changing economic conditions. Addressing this gap is essential for developing evidence-based recommendations that support sustainable mortgage finance and improve access to housing.

MATERIALS AND METHODS

Research Design. This study employed a qualitative analytical research design to examine the current state and development prospects of mortgage lending in the Republic of Kazakhstan. The research focused on identifying the economic, institutional, and regulatory factors influencing mortgage market development and evaluating their implications for housing affordability and financial stability. A descriptive and comparative approach was adopted to analyze recent developments in Kazakhstan's mortgage lending system and to assess the effectiveness of existing government housing policies.

Data Sources. The study is based exclusively on secondary data obtained from official and publicly available sources. The principal sources include reports and statistical publications of the National Bank of Kazakhstan, the Bureau of National Statistics, government housing policy documents, analytical reports on Kazakhstan's mortgage market, and previously published academic literature concerning mortgage finance, banking, and housing

policy. In addition, official information regarding government housing programs, including 7–20–25, *Baspana Hit*, and *Nurly Zher*, was reviewed to evaluate their contribution to mortgage market development. These sources correspond to the documents discussed throughout the original article.

Research Methods. Several complementary research methods were applied. First, a descriptive analysis was conducted to characterize the current state of mortgage lending in Kazakhstan and identify major market trends. Second, a comparative analysis was used to examine relationships between macroeconomic conditions, including inflation, interest rates, household income, and government support measures, and mortgage market performance. Third, a document analysis was performed to evaluate legislative documents, policy initiatives, analytical reports, and scientific publications related to mortgage finance and housing policy. Finally, system analysis was employed to investigate interactions among financial institutions, government regulation, and macroeconomic factors affecting the long-term sustainability of the mortgage market.

Analytical Framework. The analytical framework assumes that mortgage market development is influenced by the interaction of four major dimensions:

- macroeconomic conditions (inflation, monetary policy, and economic growth);
- banking sector performance (mortgage portfolios, lending conditions, and risk management);
- government housing policies (subsidies and preferential mortgage programs);
- household financial capacity (income level, housing affordability, and borrowing ability).

These dimensions were analyzed collectively to identify the principal challenges and future development opportunities for mortgage lending in Kazakhstan.

RESULTS AND DISCUSSION

Current Trends in Mortgage Lending in Kazakhstan. Mortgage lending has become one of the principal mechanisms supporting housing accessibility and residential investment in Kazakhstan. During the last decade, the mortgage market has demonstrated continuous expansion, primarily driven by government-supported housing programs, increasing demand for residential property, and the growing participation of commercial banks in long-term housing finance. The original article notes that programs such as 7–20–25, *Baspana Hit*, and *Nurly Zher* significantly stimulated mortgage demand, expanded access to housing finance, and contributed to the development of the construction

sector. The recovery of mortgage lending observed in 2024 indicates renewed confidence among both financial institutions and households. Rising mortgage issuance suggests improving market expectations despite continuing macroeconomic uncertainty. However, market growth remains uneven because borrowing capacity continues to depend heavily on government support and preferential lending conditions.

The development of the mortgage lending market in Kazakhstan is influenced by a combination of macroeconomic, institutional, and social factors. These determinants affect both the supply of mortgage loans by financial institutions and the demand for housing finance among households. Understanding the interaction of these factors is essential for evaluating the sustainability and future development of the national mortgage market. Table 1 summarizes the principal factors influencing mortgage lending development in Kazakhstan and their respective impacts.

Table 1. Major Factors Influencing Mortgage Lending Development in Kazakhstan

Factor	Positive Impact	Challenges
Government housing programs	Improve housing affordability and stimulate mortgage demand	High dependence on state financial support
Interest rate policy	Stable rates encourage long-term borrowing	Rising policy rates increase mortgage costs
Household income	Higher income expands mortgage accessibility	Low purchasing power limits borrowing capacity
Inflation	Moderate inflation supports investment activity	High inflation reduces affordability and increases financial risks
Banking sector development	Expands mortgage products and competition	Higher credit risk during economic instability
Housing supply	Supports market equilibrium	Regional housing shortages increase prices

The data presented in Table 1 indicate that mortgage lending development depends on the interaction of economic conditions, government policy, and banking sector performance. Government housing programs have significantly expanded access to mortgage financing, while macroeconomic factors such as inflation and interest rates continue to influence both borrowers' repayment capacity and financial institutions' lending decisions. Furthermore, increasing household incomes and ensuring adequate housing supply remain critical prerequisites for achieving a sustainable and accessible mortgage market in Kazakhstan.

Macroeconomic Factors Affecting Mortgage Lending. The findings indicate that mortgage market performance in Kazakhstan is strongly influenced by macroeconomic conditions. Inflation, monetary policy, and household income directly affect both mortgage demand and banks' lending strategies. In particular, increases in the National Bank's policy interest rate raise borrowing costs, reducing mortgage affordability and slowing housing demand. The original study likewise identifies interest rates, inflation, household income, and government regulation as the principal determinants of mortgage market development. Inflation represents an additional challenge because it simultaneously reduces household purchasing power and increases uncertainty within financial markets. Under such conditions, commercial banks typically adopt more conservative lending policies, which further limits access to mortgage finance. The findings indicate that mortgage lending in Kazakhstan is determined by the interaction of macroeconomic conditions, government regulation, banking sector performance, housing market characteristics, household financial capacity, technological development, and external economic risks. These interrelated factors are summarized in Figure 1.

As illustrated in Figure 1, mortgage lending is influenced by multiple interconnected dimensions rather than by individual economic indicators. Macroeconomic variables such as inflation and interest rates affect both household borrowing capacity and banks' lending strategies. Government policies and housing support programs further shape market accessibility, while technological innovation and banking sector development contribute to improving the efficiency and sustainability of mortgage financing.

Role of Government Housing Policy. Government intervention remains one of the defining characteristics of Kazakhstan's mortgage market. Preferential mortgage programs have substantially expanded access to housing finance for many

households while simultaneously supporting residential construction and related industries. Nevertheless, excessive reliance on government subsidies may reduce market competitiveness and discourage the development of sustainable commercial mortgage products. A gradual transition

toward a more balanced mortgage system - combining targeted government support with competitive market-based lending—would likely improve both financial sustainability and long-term market resilience.



Figure 1. Factors Affecting Mortgage Lending

Research findings. The findings of this study are consistent with international research demonstrating that mortgage market development depends on the interaction between macroeconomic stability, financial institutions, and public policy. Similar patterns have been observed in both developed and emerging economies, where rising interest rates and inflation reduce mortgage demand, while government support programs partially offset these negative effects. However, Kazakhstan exhibits several distinctive characteristics. Unlike many mature mortgage markets, housing finance remains closely linked to government-supported lending schemes. While these programs have successfully expanded housing accessibility, they also increase the mortgage market's dependence on fiscal policy. Consequently, future reforms should prioritize strengthening market-based mortgage financing, expanding private sector participation, improving long-term funding mechanisms, and enhancing financial literacy among potential borrowers. Overall, the evidence suggests that sustainable mortgage market development requires coordinated monetary policy, prudent banking regulation, stable macroeconomic

conditions, and well-targeted housing policies. Such an integrated approach would contribute not only to greater housing affordability but also to broader financial stability and sustainable economic growth.

CONCLUSIONS

This study examined the current state and development prospects of mortgage lending in the Republic of Kazakhstan by analyzing the interaction between macroeconomic conditions, government housing policies, and banking sector performance. The findings demonstrate that mortgage lending has become an essential component of Kazakhstan's housing finance system, contributing to improved housing accessibility, residential construction, and broader economic development. Government-supported mortgage programs have played a particularly important role in expanding access to homeownership and maintaining market activity during periods of economic uncertainty. However, the study also identifies several structural challenges that continue to constrain sustainable mortgage market development. High interest rates, inflationary pressures, regional disparities in housing

affordability, limited household purchasing power, and the significant dependence of the mortgage market on government support remain key obstacles to long-term market stability. These findings suggest that future mortgage market development should be based on a balanced combination of effective public policy, prudent banking regulation, and market-oriented financial mechanisms.

The practical implications of this research are relevant for policymakers, financial institutions, and housing market stakeholders. Strengthening long-term funding mechanisms, expanding competitive mortgage products, improving financial literacy, and introducing more targeted housing support measures may contribute to a more resilient and accessible mortgage financing system. In addition, greater digitalization of mortgage services and improvements in credit risk assessment could enhance operational efficiency and increase consumer confidence in the housing finance market.

This study has several limitations. It relies exclusively on secondary data obtained from official publications and previously published research and does not include primary empirical evidence collected from borrowers, commercial banks, or policymakers. Furthermore, the rapidly changing macroeconomic environment may influence mortgage market performance beyond the period covered by this analysis. Future research should employ quantitative econometric approaches to investigate the causal relationships between monetary policy, housing prices, household income, and mortgage demand. Comparative studies involving other Central Asian countries may also provide

valuable insights into regional mortgage market development and the effectiveness of different housing finance policies. Overall, sustainable mortgage lending in Kazakhstan will require coordinated economic policy, stable financial institutions, responsible lending practices, and continuous improvements in housing affordability. Achieving an appropriate balance between government support and market-based financing will be essential for ensuring the long-term resilience and competitiveness of Kazakhstan's mortgage market.

Author Contributions (CRediT Taxonomy): **M. B. Turabaeva:** Conceptualization, Methodology, Investigation, Formal analysis, Writing – Original Draft. **G. T. Turgumbayeva:** Data curation, Validation, Investigation, Writing – Review & Editing. **Hijriani H.:** Validation, Resources, Writing – Review & Editing. **R. B. Baimuratov:** Supervision, Methodology, Visualization, Project administration, Writing – Review & Editing. All authors have read and approved the final version of the manuscript and agree to its publication.

Copyright © 2026 by the author(s). This article is published as Open Access under the Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0) license. This license permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. Derivative works must be distributed under the same license.

REFERENCES

- [1] N. B. Abildinova, "Problems and prospects for the development of the mortgage market under macroeconomic instability," *Bulletin of KazNU. Economic Series*, no. 1, pp. 98–105, 2022.
- [2] National Bank of Kazakhstan, *Annual Report 2024*. Almaty, Kazakhstan, 2024.
- [3] National Bank of Kazakhstan, *Financial Stability Report*. Almaty, Kazakhstan, 2025.
- [4] International Monetary Fund, *Republic of Kazakhstan: Staff Report for the Article IV Consultation*. Washington, DC, USA, 2024.
- [5] Organisation for Economic Co-operation and Development, *OECD Economic Surveys: Kazakhstan*. Paris, France: OECD Publishing, 2024.
- [6] World Bank, *Kazakhstan Economic Update: Financing Sustainable Growth*. Washington, DC, USA, 2024.
- [7] M. B. Aalbers, "Financial geography III: The financialization of the city," *Progress in Human Geography*, vol. 44, no. 3, pp. 595–607, 2020, doi: 10.1177/0309132519853922.
- [8] L. Baybulekova and A. Kozhakhmetova, "Mortgage loan in Kazakhstan: Formation and improvement," *Economic Annals-XXI*, vol. 125, no. 1–2(1), pp. 63–66, 2013.
- [9] Asian Development Bank, *Asian Development Outlook 2024*. Manila, Philippines, 2024.
- [10] European Central Bank, *Financial Stability Review*. Frankfurt, Germany, 2023.

ЭКОНОМИКА. ЖАЛПЫ БІЛІМ БЕРУ, ӘЛЕУМЕТТІК ҒЫЛЫМДАР, ГУМАНИТАРЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР ЖӘНЕ ІРГЕЛІ ПӘНДЕР

DOI: <https://www.doi.org/10.53002/134>

DIGITAL MODERNIZATION OF THE CONSTRUCTION CONTROL SYSTEM IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN: MODERN SOFTWARE SOLUTIONS AND THEIR EFFECTIVENESS

*Turabaeva M.B., *Temirbayev A.T.*

Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan

** Corresponding author email: temirbayev@tttu.edu.kz*

Author information:

Turabaeva M.B. - Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan. E-mail: m.turabaeva@mail.ru

Temirbayev A.T. - Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan. E-mail: a.temirbayev@tttu.edu.kz

Abstract. Today, the construction industry is actively entering the “fourth industrial revolution” based on automation and digitalization. In this regard, there is an increasing need to update industry standards, as well as develop regulatory documents suitable for processing by information technologies. The use of digital solutions allows for the harmonious exchange of data at all stages of the life cycle of construction objects, increasing labor productivity and increasing the transparency of technological processes. In addition, the introduction of digital technologies contributes to reducing risks, optimizing costs and accelerating decision-making processes at the stages of planning, design, construction and operation of construction projects. Information modeling, automated control systems and data analysis tools allow improving the quality of construction and preventing errors caused by the human factor. In this context, the digital transformation of the construction industry should be accompanied by improving state regulatory mechanisms, ensuring the mutual integration of industry information systems and developing the digital competencies of professional personnel. This, in turn, will not only increase the efficiency of construction processes, but will also serve as a basis for strengthening the competitiveness of the industry and ensuring its sustainable development.

Keywords: construction, economic development, digital transformation, control, efficiency, life cycle, digitalization.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНДАҒЫ ҚҰРЫЛЫС БАҚЫЛАУ ЖҮЙЕСІН ЦИФРЛЫҚ ЖАҢҒЫРТУ: ЗАМАНАУИ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ШЕШІМДЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ НӘТИЖЕЛІЛІГІ

*Турабаева М.Б., *Темирбаев А.Т.*

Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан

** Автор-корреспондент e-mail: temirbayev@tttu.edu.kz*

Авторлар туралы ақпарат:

Турабаева М.Б. - Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан. E-mail: m.turabaeva@mail.ru

Темирбаев А.Т. - Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан. E-mail: a.temirbayev@tttu.edu.kz

Аңдатпа. Бүгінгі таңда құрылыс саласы автоматтандыру мен цифрландыруға негізделген «төртінші өнеркәсіптік революция» кезеңіне белсенді түрде еніп отыр. Осыған байланысты салалық стандарттарды жаңарту, сондай-ақ ақпараттық технологиялар арқылы өңдеуге қолайлы нормативтік құжаттарды әзірлеу қажеттілігі артып келеді. Цифрлық шешімдерді қолдану құрылыс объектілерінің өмірлік циклінің барлық сатыларында деректердің үйлесімді алмасуын қамтамасыз етіп, еңбек өнімділігін арттыруға және технологиялық үдерістердің ашықтығын күшейтуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, цифрлық технологияларды енгізу құрылыс жобаларын жоспарлау, жобалау, салу және пайдалану кезеңдерінде тәуекелдерді төмендетуге, шығындарды оңтайландыруға және шешім қабылдау үдерістерін жеделдетуге ықпал етеді. Ақпараттық модельдеу, автоматтандырылған бақылау жүйелері және деректерді талдау құралдары құрылыс сапасын арттырып, адам факторынан туындайтын қателіктердің алдын алуға мүмкіндік береді. Осы тұрғыда құрылыс саласын цифрлық трансформациялау мемлекеттік реттеу тетіктерін жетілдірумен, салалық ақпараттық жүйелердің өзара интеграциясын қамтамасыз

етумен және кәсіби кадрлардың цифрлық құзыреттерін дамытумен қатар жүруі тиіс. Бұл өз кезегінде құрылыс үдерістерінің тиімділігін арттырып қана қоймай, саланың бәсекеге қабілеттілігін күшейтуге және тұрақты дамуын қамтамасыз етуге негіз болады.

Түйін сөздер: құрылыс, экономикалық даму, цифрлық трансформация, бақылау, тиімділік, өмірлік цикл, цифрландыру.

ЦИФРОВАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВОМ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН: СОВРЕМЕННЫЕ ПРОГРАММНЫЕ РЕШЕНИЯ И ИХ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

*Турабаева М.Б., *Темирбаев А.Т.*

Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

** Автор-корреспондент e-mail: temirbayev@tttu.edu.kz*

Информация об авторах:

Турабаева М.Б. - Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан. E-mail: m.turabaeva@mail.ru

Темирбаев А.Т. - Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан. E-mail: a.temirbayev@tttu.edu.kz

Аннотация. Сегодня строительная отрасль активно вступает в «четвертую промышленную революцию», основанную на автоматизации и цифровизации. В связи с этим возрастает потребность в обновлении отраслевых стандартов, а также в разработке нормативной документации, пригодной для обработки с помощью информационных технологий. Использование цифровых решений позволяет обеспечить гармоничный обмен данными на всех этапах жизненного цикла строительных объектов, повысить производительность труда и прозрачность технологических процессов. Кроме того, внедрение цифровых технологий способствует снижению рисков, оптимизации затрат и ускорению процессов принятия решений на этапах планирования, проектирования, строительства и эксплуатации строительных проектов. Информационное моделирование, автоматизированные системы управления и инструменты анализа данных позволяют повысить качество строительства и предотвратить ошибки, вызванные человеческим фактором. В этом контексте цифровая трансформация строительной отрасли должна сопровождаться совершенствованием государственных нормативных механизмов, обеспечением взаимной интеграции отраслевых информационных систем и развитием цифровых компетенций профессиональных кадров. Это, в свою очередь, не только повысит эффективность строительных процессов, но и послужит основой для укрепления конкурентоспособности отрасли и обеспечения ее устойчивого развития.

Ключевые слова: строительство, экономическое развитие, цифровая трансформация, управление, эффективность, жизненный цикл, цифровизация.

НЕГІЗГІ ЕРЕЖЕЛЕР

Қазақстан Республикасындағы құрылыс бақылау жүйесін цифрлық жаңғырту құрылыс нысандарының өмірлік циклінің барлық кезеңдерінде басқару тиімділігін, ашықтығын және сапасын арттырудың негізгі бағыты болып табылады. BIM-платформалар, жобаларды басқару жүйелері, цифрлық мониторинг құралдары және геоақпараттық технологиялар құрылыс процестерін автоматтандыруға, бақылау дәлдігін арттыруға және тәуекелдерді төмендетуге мүмкіндік береді. Құрылыс бақылауында цифрлық бағдарламалық шешімдерді кешенді қолдану құрылыс процесіне қатысушылар арасындағы өзара іс-қимылды жетілдіріп, басқарушылық шешімдердің негізділігі мен жеделдігін қамтамасыз етеді. Құрылыс саласын одан әрі цифрландыру нормативтік-құқықтық базаны жетілдіруді, ақпараттық жүйелердің өзара

интеграциясын және мамандардың цифрлық құзыреттерін жүйелі түрде дамытуды талап етеді.

КІРІСПЕ

Еліміздегі құрылыс саласын техникалық реттеудің қолданыстағы нормативтік-техникалық базасы құрылымдық тұрғыдан жеткілікті түрде жүйеленбеген және көбіне ұсынымдық сипаттағы талаптарға негізделген. Сонымен қатар, жобалау, құрылыс және ғимараттар мен құрылыстарды пайдалану кезеңдерін регламенттейтін нормаларда бір-бірін қайталайтын және өзара қайшы келетін ережелер жиі кездеседі. Мұндай сәйкессіздіктер саланың инновациялық дамуын тежеп, инвестициялық-құрылыс үдерісіне қатысушылар үшін әкімшілік және техникалық сипаттағы кедергілерді күшейтеді, сондай-ақ заманауи материалдар мен жаңа технологияларды құрылыс практикасына уақтылы енгізуге мүмкіндік бермейді.

Қолданыстағы құрылыс нормаларының қолданылу саласы шектеулі, міндетті және ерікті талаптарды айқындайтын айқын тетік қарастырылмаған, сондай-ақ жаңа құрылыс ресурстарын нарыққа жедел әрі жеңілдетілген тәртіппен енгізу мүмкіндігі қамтамасыз етілмеген. Бұл факторлар қолданыстағы реттеу жүйесін жаңғырту және оны неғұрлым икемді әрі заманауи нормативтік-техникалық қамтамасыз етуге көшіру қажеттілігін көрсетеді.

Құрылыс саласындағы цифрлық трансформация еліміздің өңірлерінде біркелкі дамымаған: кейбір аймақтарда цифрлық шешімдер жылдам енгізілсе, басқаларында бұл үдеріс айтарлықтай баяу жүреді. Осындай даму қарқынындағы айырмашылықтарға қарамастан, цифрлық трансформацияның бірыңғай теориялық және ғылыми негізі әлі толық қалыптаспаған.

Зерттеудің мақсаты – Қазақстан Республикасындағы құрылыс бақылау жүйесін цифрлық жаңғыртуда қолданылатын заманауи бағдарламалық шешімдерді талдау, олардың функционалдық мүмкіндіктері мен тиімділігін бағалау, сондай-ақ құрылыс саласындағы цифрлық технологияларды одан әрі дамыту бағыттарын негіздеу.

ӘДІСТЕР МЕН МАТЕРИАЛДАР

Сондықтан зерттеу үшін негізгі материал ретінде құрылыс саласындағы қолданыстағы нормативтік және әдістемелік құжаттар пайдаланылды. Эмпирикалық материал ретінде Қазақстан Республикасының құрылыс саласын реттейтін нормативтік-құқықтық актілері, техникалық регламенттері, құрылыс бақылауын ұйымдастыруға қатысты әдістемелік құжаттар, сондай-ақ құрылыс жобаларын басқаруда кеңінен қолданылатын бағдарламалық кешендер туралы ресми ақпарат пайдаланылды. Зерттеу объектісі ретінде құрылыс бақылауын цифрландыруға арналған қазіргі заманғы бағдарламалық шешімдер қарастырылды. Бағдарламалық өнімдерді бағалау олардың функционалдық мүмкіндіктері, құрылыс бақылау процестеріне интеграциялану деңгейі, құжаттаманы басқару, жобаларды жоспарлау, мониторинг жүргізу, ақпараттық өзара іс-қимылды ұйымдастыру және құрылыс жұмыстарының сапасын бақылау мүмкіндіктері бойынша жүзеге асырылды.

Құрылыс саласына цифрлық технологияларды енгізу өндірістік үдерістерді оңтайландыруға, шығындарды азайтуға және салынатын нысандардың сапасын арттыруға кең мүмкіндіктер ашады. Цифрландырудың негізгі артықшылықтарының бірі – оны жылжымайтын мүлік объектілерінің өмірлік циклінің барлық кезеңдерінде қолдану мүмкіндігі [1].

Айтарлықтай артықшылықтарына қарамастан, цифрландыру үдерістері құрылыс өнімдерін өндірушілер мен тұтынушылар үшін белгілі бір кемшіліктермен де қатар жүреді (кестеге қараңыз). Дегенмен, цифрлық трансформацияның басты артықшылығы – құрылыс үдерістерінің ауқымын кеңейту және өндіріс шығындарын төмендету мүмкіндігі.

Құрылыс өнімін жасау – көптеген кезеңдерден тұратын күрделі үдеріс, онда бақылау мен қадағалау жүйесі ерекше маңызға ие. Дәл осы бағыттар цифрлық трансформация үшін едәуір әлеуетке ие.

Қала құрылысы кодексі құрылыс бақылауын жүзеге асыруды реттейтін негізгі ережелерді айқындайды [2]. Құрылыс бақылауы – құрылыс-монтаж жұмыстарының сапалы орындалуын және салынатын нысанның жобалық құжаттамаға әрі белгіленген нормативтік талаптарға сай болуын қамтамасыз етуге бағытталған іс-шаралар жиынтығы.

Құрылыс бақылауы орындалатын жұмыстардың техникалық, экономикалық және экологиялық талаптарға сәйкестігін тексеруге, сондай-ақ жобадан және нормативтік регламенттерден ауытқуларды дер кезінде анықтап, жоюға бағытталған. Маңыздысы — құрылыс бақылауы құрылыс үдерісінің ажырамас бөлігі болып табылады және жобалық құжаттаманы әзірлеуден бастап нысанды пайдалануға беруге дейінгі барлық кезеңдерде жүргізіледі. Бұл бақылауды тапсырыс беруші де, тәуелсіз қадағалау ұйымдары да жүзеге асырады.

Құрылыс бақылауының әрбір кезеңін әртүрлі цифрлық құралдарды қолдану арқылы цифрландыруға болады. Алайда бірыңғай бағдарламалық платформаны енгізу бақылаудың тиімділігін айтарлықтай арттыруға, тексеру мерзімдерін қысқартуға және құрылыс кезеңдерінің дәл бағалануын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

Қазақстан нарығында құрылыс бақылауын және жобаларды басқаруды цифрландыруға мүмкіндік беретін әртүрлі бағдарламалық шешімдер ұсынылған. Оларды төрт негізгі категорияға бөлуге болады:

1. BIM-платформалар (Building Information Modeling)

BIM-технологиялары ғимараттардың ақпараттық модельдерін жасауға және жобалау мен құрылыс кезеңдерін біртұтас жүйеге біріктіруге мүмкіндік береді. Ең көп қолданылатын шешімдер:

Autodesk BIM 360 (Autodesk Construction Cloud) — құжаттаманы басқару, сапаны бақылау, жұмыстардың барысын қадағалау;

REVIT - ақпараттық модельдер жасау және жобалық шешімдерді автоматтандыру; Allplan - жобалау және инженерлік деректерді басқару [3].

2. Құрылыс процестерін бақылау және тіркеу жүйелері

Бұл платформалар электрондық журналдарды жүргізуге, жұмыстарды фото және бейне арқылы тіркеуге, түсініктемелерді басқаруға және қатысушылар арасындағы коммуникацияны қамтамасыз етеді:

PlanRadar - цифрлық журналдар, ақауларды тіркеу және оларды түзетуге бақылау;

Атқарушы суреттеме журналы (ЗИС) — электрондық түрде актілерді жүргізу үшін жергілікті шешімдер.

3. Жобаларды және құрылыс мерзімдерін басқару жүйелері

Бұл бағдарламалар ресурстарды жоспарлауға, мерзімдерді бақылауға және жобаның барлық қатысушыларын үйлестіруге мүмкіндік береді:

Primavera P6 - күнтізбелік-сеткалық жоспарлау;

Microsoft Project - мерзімдерді, ресурстарды және тапсырмаларды басқару;

ERP-жүйелер 1С негізінде - сметалық есеп, жұмыстардың орындалуын бақылау, басқа модульдермен интеграция.

4. Құрылыс барысын нақты уақыт режимінде бақылау платформалары

Бұл жүйелер видеобақылау және геоинформациялық технологияларды қамтиды:

-цифрлық платформалармен біріктірілген бейнебақылау жүйелері;

-ірі инфрақұрылымдық объектілерді бақылау және ауытқуларды тіркеу үшін GIS-платформалары

[4].

Бағдарламалық кешеннің салыстырмалы талдауын келесі кестеге толтырамыз.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ТАЛҚЫЛАУ

Берілген кесте Қазақстандағы құрылыс бақылауын цифрландыруда қолданылатын бағдарламалық құралдардың функционалдық әртүрлілігін және олардың практикалық мүмкіндіктерін көрсетеді. BIM-платформалар (Autodesk BIM 360, Revit) жобалау мен құрылыстың барлық кезеңдерін біріктіріп, құжаттаманы басқару мен сапаны бақылауды кешенді түрде жүзеге асыруға мүмкіндік береді, алайда оларды енгізу жоғары қаржылық шығындар мен білікті мамандарды талап етеді.

Бақылау және тіркеу жүйелері (PlanRadar) құрылыс алаңындағы ақауларды жедел анықтауға және цифрлық журналдар жүргізуге жағдай жасап, бақылау үдерістерінің жеделдігі мен ашықтығын арттырады, бірақ интернет инфрақұрылымына тәуелділігі белгілі бір шектеу болып табылады. Жобаларды басқару құралдары (Primavera P6) ірі және күрделі құрылыс жобаларын жоспарлау мен мерзімдік бақылауда жоғары тиімділік көрсетсе де, оларды енгізу мен пайдалану күрделі әрі қымбат. Ал GIS-платформалар кең ауқымды объектілердің геомониторингін қамтамасыз етіп, аналитикалық мүмкіндіктерді кеңейтеді, дегенмен өзге ақпараттық жүйелермен интеграциялауды қажет етеді.

Жалпы алғанда, аталған бағдарламалық кешендерді кешенді түрде және өзара үйлестіре қолдану құрылыс бақылауының тиімділігін арттырып, құрылыс сапасын қамтамасыз етуге және басқарушылық шешімдердің дәлдігін жоғарылатуға мүмкіндік береді. Құрылыс бақылауын цифрландыруға арналған бағдарламалық шешімдер функционалдық мүмкіндіктері, қолданылу бағыттары және енгізу ерекшеліктері бойынша өзара ерекшеленеді. Олардың әрқайсысы құрылыс үдерісінің белгілі бір кезеңдерін автоматтандыруға бағытталған және жобалау, құрылыс, мониторинг жүргізу немесе ресурстарды басқару сияқты нақты міндеттерді шешуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, бағдарламалық кешендерді таңдау ұйымның техникалық мүмкіндіктеріне, қаржылық ресурстарына және цифрлық инфрақұрылымының даму деңгейіне тәуелді. Қазақстанда қолданылатын негізгі бағдарламалық шешімдердің функционалдық ерекшеліктерін, артықшылықтары мен шектеулерін салыстырмалы түрде бағалау мақсатында 1-кесте әзірленді.

Кестеде келтірілген мәліметтерден көрініп тұрғандай, әмбебап бағдарламалық өнім жоқ. Әрбір жүйенің өзінің қолданылу саласы, функционалдық артықшылықтары және белгілі бір шектеулері бар. Сондықтан құрылыс бақылауының тиімділігін арттыру үшін BIM-платформаларды, жобаларды басқару жүйелерін, мониторинг құралдарын және геоақпараттық технологияларды кешенді түрде пайдалану неғұрлым тиімді тәсіл болып табылады. Мұндай интеграцияланған тәсіл құрылыс объектілерінің сапасын арттыруға, тәуекелдерді азайтуға және басқарушылық шешімдердің тиімділігін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

Кесте 1 - Бағдарламалық кешендерді салыстырмалы талдау

Санат	Атауы	Негізгі функциялары	Артықшылықтары	Шектеулері
BIM-платформалар	Autodesk BIM 360	Құжаттаманы басқару, сапаны бақылау, қатысушылармен өзара әрекет	Барлық кезеңдерді интеграциялау, бірлескен жұмыс, масштабталу	Жоғары бағасы, білікті мамандар қажет
	REVIT	Модельдеу, жобалық шешімдерді автоматтандыру	Дәл жобалау, BIM-ке үйлесімділік	Оқытуға уақыт қажет
Бақылау және тіркеу	PlanRadar	Цифрлық журналдар, ақауларды тіркеу	Бақылауды жылдамдату, мобильділік	Интернет байланысына тәуелділік
Жобаларды басқару	Primavera P6	Жоспарлау, мерзімдерді бақылау	Ірі жобаларды жоспарлау үшін қуатты құрал	Енгізу қиындығы, жоғары баға
Мониторинг	GIS-платформалар	Объектілерді геомониторинг	Ірі объектілерді бақылау, аналитика	Басқа жүйелермен интеграция қажет

Жалпы алғанда, зерттеу нәтижелері құрылыс бақылауын цифрландырудың бағдарламалық құралдардың жеке мүмкіндіктеріне ғана емес, олардың өзара интеграциялануына да тәуелді екенін көрсетті. BIM-платформаларды, жобаларды басқару жүйелерін, цифрлық мониторинг құралдарын және геоакпараттық технологияларды кешенді түрде қолдану құрылыс саласында бірыңғай цифрлық экожүйе қалыптастыруға мүмкіндік береді. Мұндай тәсіл құрылыс сапасын арттырып, бақылау рәсімдерінің ашықтығын қамтамасыз етеді, тәуекелдерді төмендетеді және мемлекеттік бақылау органдары мен құрылыс процесіне қатысушылар арасындағы ақпараттық өзара іс-қимылды жаңа деңгейге көтереді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Қазақстандағы құрылыс бақылауын цифрландыру тиімділікті және құрылыс сапасын арттырудың негізгі факторы болып отыр. Бұл үдеріс құрылыс-монтаж жұмыстарының барлық кезеңдерінде ашықтықты қамтамасыз етіп, бақылау функцияларын автоматтандыру арқылы тәуекелдерді уақтылы анықтауға және бұзушылықтардың алдын алуға мүмкіндік береді. Цифрлық платформалар мен ақпараттық жүйелерді енгізу бақылау нәтижелерін жедел тіркеуге, деректердің нақтылығын арттыруға және адам факторына тәуелділікті азайтуға ықпал етеді.

Сонымен қатар, цифрлық құрылыс бақылауы мемлекеттік органдар, жобалаушылар, мердігер ұйымдар және техникалық қадағалау қызметтері арасындағы өзара іс-қимылды күшейтіп,

басқарушылық шешімдер қабылдаудың тиімділігін арттырады. Нәтижесінде құрылыс саласындағы

бақылау тетіктері жетілдіріліп, объектілердің қауіпсіздігі мен сенімділігін қамтамасыз етуге, сондай-ақ саланың тұрақты дамуына қолайлы жағдай қалыптасады.

BIM-платформаларды, бақылау және тіркеу жүйелерін, жобаларды басқару құралдарын және геоинформациялық технологияларды қолдану арқылы кәсіпорындар:

- құрылыс мерзімдерін қысқартуға;
- барлық кезеңдерде бақылаудың дәлдігін арттыруға;
- адамдық қателіктерді азайтуға;
- жобаның барлық қатысушылары үшін айқын цифрлық орта құруға мүмкіндік алады.

Бақылау, басқару және мониторинг функцияларын біріктіретін бірыңғай бағдарламалық платформаны енгізу құрылыс компаниялары үшін стратегиялық маңызды қадам болып табылады, ол бәсекеге қабілеттілікті арттыруға және шығындарды оңтайландыруға мүмкіндік береді.

Мүдделер қақтығысы. Авторлар осы зерттеуді орындау және мақаланы жариялау барысында мүдделер қайшылығы жоқ екенін мәлімдейді.

Авторлардың үлесін көрсету (таксономия CRediT): М.Б. Турабаева – зерттеу тұжырымдамасын әзірлеу, зерттеу әдіснамасын қалыптастыру, нормативтік-құқықтық және ғылыми әдебиеттерді талдау, бағдарламалық кешендерді салыстырмалы бағалау, нәтижелерді

талдау, мақаланың бастапқы нұсқасын дайындау. **А.Т. Темірбаев** – ғылыми жетекшілік, зерттеу әдіснамасын жетілдіру, құрылыс бақылауын цифрландыру бойынша техникалық шешімдерді талдау, нәтижелерді интерпретациялау, мақаланы ғылыми редакциялау және рецензиялау. Барлық авторлар мақаланың соңғы нұсқасымен танысып, оны жариялауға мақұлдады және зерттеу нәтижелерінің дұрыстығына ортақ жауапкершілік алады.

Қаржыландыру. Зерттеу сыртқы қаржыландырусыз орындалды.

Авторлық құқық © 2026 автор(лар)ға тиесілі. Бұл мақала Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International (**CC BY-SA 4.0**) лицензиясы бойынша ашық қолжетімді болып табылады. Лицензия түпнұсқа еңбекке тиісті түрде сілтеме жасалған жағдайда, кез келген ортада пайдалануға, таратуға және қайта жариялауға рұқсат береді. Туынды материалдар осы лицензияның дәл осындай шарттарымен таратылуы тиіс.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- [1] Курманиязова Н. Ж. Құрылыс өндірісін ұйымдастыру : оқу құралы / Н. Ж. Курманиязова ; ҚР Ауыл шаруашылығы министрлігі, Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті. — Алматы : Альманахъ, 2019. — 179 б.
- [2] Қазақстан Республикасы. Құрылыс кодексі. — Астана, 2022.
- [3] KAZBI. Қазақстандағы BIM технологияларын енгізу тәжірибесі және тиімділігі. — Алматы, 2021.
- [4] PlanRadar. Digital Construction Management & Defect Tracking [Электрондық ресурс]. — URL: <https://www.planradar.com/>

REFERENCES

- [1] N. Zh. Kurmaniyazova, *Qurylys ondirisin uiymdastyru (Organization of Construction Production)*. Almaty, Kazakhstan: Almanakh, 2019.
- [2] Republic of Kazakhstan, *Construction Code of the Republic of Kazakhstan*. Astana, Kazakhstan, 2022.
- [3] KAZBI, *Implementation Experience and Effectiveness of BIM Technologies in Kazakhstan*. Almaty, Kazakhstan, 2021.
- [4] PlanRadar, “Digital Construction Management & Defect Tracking.” Accessed: Jul. 24, 2026. [Online]. Available: <https://www.planradar.com/>

CHEMICAL AND PHARMACEUTICAL TECHNOLOGIES. LIFE SAFETY

DOI: <https://www.doi.org/10.53002/131>

ANALYSIS OF SPECIFIC HAZARDS OF CONFECTIONERY PRODUCTION

^{1*}Lavrentieva A.E., ¹Chernysheva A.A., ²Al Azzam K.M., ¹Lekhtmetz V.L., ¹Kornev V.V.

¹Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan

²University of Jordan, Jordan

* Corresponding author email: a.lavrentyeva@tttu.edu.kz

Author information:

Lavrentieva A.E. - Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan. E-mail: a.lavrentyeva@tttu.edu.kz

Chernysheva A.A. - Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan.

Al Azzam K.M. - Department of Chemistry, School of Science, University of Jordan, Jordan.

Email: k.alazzam@ju.edu.jo; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4097-6991>

Lekhtmetz V.L. - Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan.

Kornev V.V. - Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan.

Abstract. Confectionery production, despite belonging to the food industry, may include areas with signs of increased industrial danger (dust-air mixtures, hot processes, intensive mechanization), which requires a systematic risk analysis and management measures. The specifics of the hazards are caused by a combination of complex thermal processes, the use of powerful mechanical equipment, and, most critically, work with dispersed systems of organic origin. Taking into account the requirements of the Law of the Republic of Kazakhstan "On Civil Protection", the management of these hazards is a key task to prevent accidents and ensure occupational safety. The article provides a comprehensive analysis and classification of specific production hazards typical of the confectionery industry of the Republic of Kazakhstan.

Keywords: confectionery production, industrial safety, dust and explosion hazard, risk analysis, labor protection, dust and air mixtures, industrial injuries.

КОНДИТЕРЛІК ӨНДІРІСТІҢ ЕРЕКШЕ ҚАУІПТЕРІН ТАЛДАУ

^{1*}Лаврентьева А.Е., ¹Чернышева А.А., ²Ал Аззам К.М., ¹Лехтмец В.Л., ¹Корнев В.В.

¹Қарағанды Индустриялық Университеті, Теміртау, Қазақстан

²Иордания университеті, Иордания

* Автор-корреспондент e-mail: a.lavrentyeva@tttu.edu.kz

Авторлар туралы ақпарат:

Лаврентьева А.Е. - Қарағанды Индустриялық Университеті, Теміртау, Қазақстан.

E-mail: a.lavrentyeva@tttu.edu.kz

Чернышева А.А. - Қарағанды Индустриялық Университеті, Теміртау, Қазақстан.

Al Azzam K.M. - Иордания университетінің Ғылым мектебінің химия кафедрасы, Иордания.

Email: k.alazzam@ju.edu.jo; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4097-6991>

Лехтмец В.Л. - Қарағанды Индустриялық Университеті, Теміртау, Қазақстан.

Корнев В.В. - Қарағанды Индустриялық Университеті, Теміртау, Қазақстан.

Аңдатпа. Кондитерлік өнімдер тамақ өнеркәсібіне жататынына қарамастан, өнеркәсіптік қауіптіліктің жоғарылау белгілері бар учаскелерді қамтуы мүмкін (шаң-ауа қоспалары, ыстық процестер, қарқынды механикаландыру), бұл тәуекелдерді жүйелі талдауды және оларды басқару шараларын қажет етеді. Қауіптің ерекшелігі күрделі жылу процестерінің үйлесуіне, қуатты механикалық жабдықты пайдалануға және, ең бастысы, органикалық дисперсті жүйелермен жұмыс істеуге байланысты. ҚР "Азаматтық қорғау туралы" Заңының талаптарын ескере отырып, бұл қауіптерді басқару авариялардың алдын алу және еңбек қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін негізгі міндет болып табылады. Мақалада Қазақстан Республикасының кондитерлік саласына тән ерекше өндірістік қауіптерге кешенді талдау және жіктеу жүргізіледі.

Түйін сөздер: кондитерлік өндіріс, өнеркәсіптік қауіпсіздік, шаң жарылыс қаупі, тәуекелдерді талдау, еңбекті қорғау, шаң-ауа қоспалары, өндірістік жарاقاتтану.

АНАЛИЗ СПЕЦИФИЧЕСКИХ ОПАСНОСТЕЙ КОНДИТЕРСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

^{1*}Лаврентьева А.Е., ¹Чернышева А.А., ²Al Azzam К.М., ¹Лехтмец В.Л., ¹Корнев В.В.

¹Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

²Университет Иордании, Иордания

* Автор-корреспондент e-mail: a.lavrentyeva@tttu.edu.kz

Информация об авторах:

Лаврентьева А.Е. - Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан.

E-mail: a.lavrentyeva@tttu.edu.kz

Чернышева А.А. - Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан.

Al Azzam К.М. – Кафедра химии, факультет естественных наук, Иорданский университет, Иордания.

Email: k.alazzam@ju.edu.jo; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4097-6991>

Лехтмец В.Л. - Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан.

Корнев В.В. - Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан.

Аннотация. Кондитерское производство, несмотря на принадлежность к пищевой отрасли, может включать участки с признаками повышенной промышленной опасности (пылевоздушные смеси, горячие процессы, интенсивная механизация), что требует систематического анализа рисков и мер управления ими. Специфика опасностей обусловлена сочетанием сложных тепловых процессов, использованием мощного механического оборудования и, что наиболее критично, работой с дисперсными системами органического происхождения. С учетом требований Закона РК "О гражданской защите", управление этими опасностями является ключевой задачей для предотвращения аварий и обеспечения безопасности труда. В статье проводится комплексный анализ специфических производственных опасностей, характерных для кондитерской отрасли Республики Казахстан.

Ключевые слова: кондитерское производство, промышленная безопасность, пылевзрывоопасность, анализ рисков, охрана труда, пылевоздушные смеси, производственный травматизм.

MAIN PROVISIONS

Confectionery production is characterized by a combination of dust-explosion, thermal, mechanical, electrical, and organizational risk factors that require a comprehensive approach to industrial safety management. The most significant hazard is posed by dust-air mixtures generated during the handling of flour, powdered sugar, cocoa powder, and other dispersed organic materials. Effective reduction of occupational risks is achieved through the implementation of technical protective measures, regular monitoring of equipment condition, compliance with occupational health and safety management system requirements, and improvement of personnel training. The presented classification of specific hazards can be used in occupational risk assessment, the development of occupational safety measures, and the improvement of industrial safety management systems at confectionery enterprises in the Republic of Kazakhstan.

INTRODUCTION

The Republic of Kazakhstan has several large-scale confectionery production facilities operating on an industrial scale. Among the major enterprises are JSC "LOTTE Rakhat" (Almaty) and JSC "Bayan Sulu" (Kostanay), as well as other companies

mentioned among the country's leading confectionery manufacturers, such as Hamle [1, 2].

Such production facilities are characterized by large volumes of storage and transportation of bulk raw materials, including sugar, flour, and cocoa products; extensive aspiration systems; and numerous forming and packaging lines. These factors make the risks of dust explosions, fires, and occupational injuries not merely theoretical but practical concerns. The principal specific hazard in confectionery production is the explosiveness of flour and sugar dust (dispersed systems). Flour, powdered sugar, starch, and cocoa powder are organic substances that, when finely dispersed and mixed with air, can form a combustible and explosive dust-air mixture.

The confectionery industry is one of the most dynamically developing sectors of the food industry and plays an important role in supplying the population with food products, developing the processing sector, and creating employment opportunities. At the same time, confectionery production processes are characterized by a combination of various occupational factors that may pose potential hazards to workers and production infrastructure. The use of bulk organic raw materials, high-temperature equipment, mechanized production lines, and complex engineering systems necessitates

a comprehensive approach to ensuring industrial and occupational safety.

In recent years, occupational risk management has become increasingly relevant due to the transition of enterprises toward risk-oriented occupational safety management systems based on the prevention of accidents and occupational injuries. The international standard ISO 45001:2018, as well as modern approaches to occupational risk management, provides for the systematic identification of hazards, assessment of the probability of their occurrence, and development of preventive measures aimed at reducing occupational risks.

For confectionery enterprises in the Republic of Kazakhstan, the most common hazards include those associated with the formation of dust-air mixtures, exposure to high temperatures, operation of mechanized equipment, electrical hazards, and organizational deficiencies in occupational safety management. Although individual aspects of industrial safety in food-processing facilities have been widely addressed in the scientific literature, issues related to the comprehensive classification of specific hazards in confectionery production, taking into account the characteristics of domestic enterprises, have received insufficient attention.

This study aims to analyze and systematize the specific occupational hazards characteristic of confectionery enterprises in the Republic of Kazakhstan and to identify the main areas for improving the effectiveness of industrial safety and occupational health management systems.

Scientific novelty. The study systematizes and classifies the specific occupational hazards characteristic of confectionery enterprises in the Republic of Kazakhstan. Particular attention is paid to dust-explosion hazards, thermal, mechanical, electrical, and organizational risks, taking into account modern industrial safety and occupational health requirements.

Practical significance. The findings can be used in occupational risk assessment, the development of occupational safety measures, improvement of industrial safety management systems, and personnel training at confectionery enterprises.

MAIN PART

Mechanism of the Hazard

An explosion occurs when the concentration of dust in the air reaches the Lower Explosive Limit (LEL) and an ignition source is present, such as a spark caused by static electricity, an overheated bearing, or faulty electrical equipment. The main critical areas include:

Aspiration and filtration systems, where dust becomes concentrated.

Hoppers and silos used for storing bulk products.

Mills and screening machines, which generate the largest quantities of dust.

At large-scale factories such as JSC “LOTTE Rakhat” in Almaty and JSC “Bayan Sulu” in Kostanay, bulk ingredients are often transferred to screening and dosing systems through hoppers and material-transfer areas.

A typical scenario for the formation of a hazardous dust-air mixture occurs when raw materials are transferred, including during the opening of bags and feeding materials into receiving hoppers, while general ventilation carries dust into the working area and screening equipment increases dust concentration at the inlet and outlet. Potential ignition sources may include local equipment defects, such as sparking electric motors, overheating bearing assemblies, or electrostatic discharge from flexible hoses and material-transfer sections.

The consequences of a dust explosion include the destruction of equipment and structures, as well as the risk of a secondary explosion. A primary explosion in an aspiration or material-transfer area can lift accumulated dust from upper surfaces such as beams, trays, and air ducts, after which the fire rapidly spreads throughout the room, significantly increasing the damaging effects. Therefore, for confectionery production facilities in the Republic of Kazakhstan, not only the proper functioning of aspiration systems and electrical equipment is critical, but also systematic cleaning of hard-to-reach areas [1].

In addition to the explosion hazard posed by fine dust, thermal and fire hazards constitute a significant class of risks in confectionery production. Fire hazards are associated with the extensive use of high-temperature processes and the storage of combustible materials. The operation of ovens, cooking units, and syrup-processing systems requires continuous monitoring of thermal conditions, since exceeding permissible parameters may result in ignition of raw materials, lubricants, or heat-transfer fluids. Furthermore, large stocks of fats, oils, and packaging materials such as cardboard and polymers represent a significant fire load. In the event of a fire, rapid flame propagation may be aggravated by air ducts and ventilation systems, requiring strict compliance with fire-resistance requirements for structures and the availability of effective automatic fire-extinguishing systems.

At enterprises with a wide product range, including chocolate, biscuits, caramel, and wafers, packaging and container storage areas effectively constitute separate zones of increased fire load. This is particularly evident where cardboard and polymer packaging materials are stored in large quantities near areas of intensive shipping operations, such as loading gates and ramps. Under such conditions, a single localized overheating event—for example,

caused by a defective cable, lighting fixture, equipment charging station, or ventilation fan motor—can result in rapid fire development due to the high combustible load of these materials.

High temperatures are also directly associated with the risk of thermal injuries. In cooking, tempering, and forming areas, there is a high probability of severe burns caused by hot syrups, molten fats, steam, or contact with heated equipment surfaces. This requires not only the use of personal protective equipment (PPE), but also the insulation of hot equipment components and the implementation of automatic pressure and temperature control systems [3].

For caramel and syrup-processing areas, which are characteristic of large confectionery factories, including facilities in Kostanay, a typical risk is associated not only with “hot surfaces” but also with the release of hot product when process conditions are violated.

For example, partial blockage of a pipeline or improper operation of shut-off valves may result in sudden depressurization or ejection of hot syrup when the flow is switched toward the forming equipment. In such situations, an injury can occur within seconds, making organizational measures—such as clear switching procedures and prohibiting manual operations within potential discharge zones—as critical as the use of PPE.

Mechanical hazards are common to any large industrial enterprise and are associated with the operation of high-performance, rapidly moving equipment. At confectionery factories, this class of risks is particularly pronounced in areas involving mixing, dosing, forming, and packaging operations [4].

Hazards Associated with Rotating and Moving Parts

Equipment such as dough mixers, industrial mixers, rolling mills, and conveyor systems creates a constant risk of clothing or body parts being caught in moving mechanisms, which can result in bruises, fractures, and, in severe cases, amputations. To minimize this risk, it is essential to ensure the full operability of protective guards and interlocking devices that prevent equipment from starting when access to a hazardous zone is possible.

A typical injury scenario on forming and packaging lines involves an attempt to perform “quick cleaning” without completely stopping the equipment and isolating its energy sources. A worker may remove product residue from rollers or augers or adjust jammed film on a conveyor, assuming that the equipment is moving slowly. However, the machinery may suddenly jerk due to automatic operation, a product sensor, or an automatic restart following a temporary stop.

At high-capacity factories, including major facilities in Almaty and Kostanay, the problem is exacerbated by the continuous operation of production lines and the pressure on personnel to avoid interrupting production.

Hazards Associated with Storage and Handling of Loads

In warehouses and picking areas, there is a risk of stacked goods collapsing, products falling from heights, and collisions with industrial vehicles. These risks require strict compliance with storage and stacking schemes, regular inspection of storage racks, and mandatory training and certification of personnel operating lifting and transport equipment [4].

Work-at-Height Hazards

The risk of falling from height arises during repair work, cleaning, and maintenance of large stationary structures such as silos, raw-material hoppers, and ventilation systems. This requires strict compliance with work-at-height safety rules, the use of fall-arrest systems, and properly designed scaffolding and work platforms.

The occupational health and industrial safety management system must also take into account risks associated with adverse workplace environmental factors [5].

Electrical Hazards

The presence of large quantities of electrical equipment, including powerful motors and heating elements, creates a risk of electric shock due to damaged insulation, inadequate grounding, or errors during maintenance. These risks are significantly increased in areas with high humidity, such as equipment-washing facilities, requiring the use of reduced-voltage systems and residual current devices (RCDs).

Noise and Vibration

Continuous operation of high-performance machinery, ventilation, and aspiration systems generates significant levels of occupational noise and vibration. Prolonged exposure to these factors may result in occupational diseases, including hearing loss [3]. Risk control requires the use of sound-absorbing materials, PPE such as earmuffs and earplugs, and regular occupational exposure monitoring.

Microclimate

Temperature and humidity levels in different production areas may be uncomfortable or even hazardous. For example, oven areas are characterized by high temperatures, whereas cold-storage chambers may have extremely low temperatures. This requires regulation of the duration of personnel exposure and the provision of appropriate protective clothing.

In equipment-washing areas, the risk is often associated not with permanently installed electrical cabinets but with portable devices, including extension cords, portable lamps, mobile pumps, and

foam generators. Under conditions of wet floors and condensation, even a minor crack in insulation or a “temporary” connection made without proper control can result in electric shock. In practice, this requires a separate procedure governing the use of portable electrical equipment in washing areas, including equipment identification, periodic inspection, and a prohibition on improvised extension cords.

Accident analysis indicates that a significant proportion of incidents are caused not by technical failures but by organizational deficiencies or human factors.

Deficiencies in the Industrial Safety Management System

These include the absence or ineffectiveness of the management system, irregular monitoring, and a formal approach to documentation. For example, a dust-cleaning log may be maintained merely “for inspection purposes” while failing to cover upper areas and internal cavities of aspiration systems, resulting in dust accumulation in hard-to-reach locations [5].

Personnel Errors

Personnel errors include violations of established procedures and bypassing safety interlocks, including failure to follow energy-isolation procedures during maintenance. A typical scenario involves stopping equipment using only the control button without locking out the power supply at the electrical cabinet, after which another employee starts the production line based on a “ready” indication.

Insufficient Training

Personnel may know how to respond to an ordinary fire but may not understand the specific characteristics of dust explosions or the critical importance of isolating energy sources before entering a hazardous area.

CONCLUSION

Confectionery production combines several groups of risks arising simultaneously from raw materials, technological processes, and work organization. The most critical risks for enterprises in the Republic of Kazakhstan include dust-explosion hazards associated with the handling of bulk ingredients, fire hazards in packaging warehouses and intensive logistics areas, and the risk of injuries during the operation and maintenance of mechanized production lines.

Practical analysis demonstrates that the severity of consequences depends not only on the presence of a hazard but also on the quality of safety management, including the proper functioning of aspiration and electrical systems, disciplined cleaning practices, procedures for equipment shutdown and energy isolation, and the level of personnel training.

Therefore, the priority areas for improving safety include technical measures aimed at preventing dust accumulation and eliminating ignition sources, organizational standardization of work processes—including maintenance and sanitation operations—and regular personnel training with practical exercises based on typical emergency scenarios.

Such an approach makes it possible to reduce the probability of accidents and injuries without compromising production efficiency and ensures compliance with industrial and fire safety requirements.

Author Contributions (CRediT Taxonomy)

A.E. Lavrentyeva – conceptualization of the study, development of the methodology, analysis of the scientific literature, systematization and classification of occupational hazards, and preparation of the initial manuscript draft.

A.A. Chernysheva – investigation, collection and analysis of regulatory and technical information, validation of the results.

K.M. Al Azzam – investigation, validation of the results, and participation in the preparation and editing of the manuscript.

V.L. Lekhtmets – formal analysis, visualization of materials, critical review, and editing of the manuscript.

V.V. Kornev – supervision of the research, project administration, review, and final approval of the manuscript for publication.

All authors have read and approved the final version of the manuscript for publication.

Funding

The study was conducted without external funding.

Conflict of Interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

Acknowledgments

The authors express their gratitude to Karaganda Industrial University for the support provided during the research.

Copyright

Copyright © 2026 by the author(s). This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International License (CC BY-SA 4.0). The license permits free use, distribution, and reproduction in any form, provided that appropriate credit is given to the authors and the same license is retained for derivative materials.

(CC BY-SA 4.0). Лицензия разрешает свободное использование, распространение и воспроизведение в любой форме при условии обязательного указания авторства и сохранения той же лицензии для производных материалов.

REFERENCES

- [1] Law of the Republic of Kazakhstan No. 188-V dated April 11, 2014. On Civil Protection (as amended and supplemented through 2025).
- [2] Abzalieva S.A., Sarsenova A.O., et al. Social and hygienic review of the current state of the leading industries of the Republic of Kazakhstan. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation)*. 2016;95(8):748–754. (In Russ.).
- [3] Bafojev A.H. Hygiene Issues Among Workers in Confectionery Production Enterprises. *Journal of Modern Educational Innovations*. 2023;2(4):45–52.
- [4] Kim I.J. Safety and Health Practices in the Food Industry and Ergonomic Interventions. *Journal of Ergonomics*. 2016;6(4):178.
- [5] International Organization for Standardization (ISO). ISO 45001:2018. Occupational health and safety management systems — Requirements with guidance for use. Geneva: ISO; 2018.

ХИМИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ФАРМАЦЕВТИКАЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР. ТІРШІЛІК ҚАУІПСІЗДІГІ

DOI: <https://www.doi.org/10.53002/132>

REVIEW AND PROSPECTS FOR RESEARCH ON ACTIVE PHYTOCOMPONENTS WITH ANTI-INFLAMMATORY ACTION

***Khamkhoeva F.B., Merkulov V.V., Almazov A.I., Sitdikova E.V.**

Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan
* Corresponding author email: f.khamhoeva@ttu.edu.kz

Author information:

Khamkhoeva F.B. - Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan. E-mail: f.khamhoeva@ttu.edu.kz

Merkulov V.V. - Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan.

Almazov A.I. - Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan.

Sitdikova E.V. - Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan.

Abstract. With the development of pharmaceutical science and the increasing incidence of diseases associated with inflammatory processes, active phytochemicals with anti-inflammatory action are becoming an important research target in pharmaceutical technology and medicine. Inflammation underlies many chronic and acute pathologies, necessitating the search for effective and safe means to correct it. Despite the widespread use of synthetic anti-inflammatory drugs, their use is often limited by side effects, increasing interest in biologically active substances of plant origin. Phytochemicals are characterized by a multidirectional mechanism of action and a more favorable safety profile. In recent years, the number of studies aimed at studying not only medicinal plants in general but also individual active components responsible for the anti-inflammatory effect has increased. This article examines the main groups of active phytochemicals with anti-inflammatory action, their characteristics, mechanisms of action, as well as prospects for experimental research and application in pharmaceutical technology.

Keywords: anti-inflammatory action, phytochemicals, biologically active substances, extraction, pharmaceutical technology.

ҚАБЫНУҒА ҚАРСЫ ӘСЕРІ БАР БЕЛСЕНДІ ФИТОКОМПОНЕНТТЕРДІ ЗЕРТТЕУДІҢ ШОЛУЫ МЕН ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ

***Хамхоева Ф.Б., Меркулов В.В., Алмазов А.И., Ситдикова Е.В.**

Қарағанды Индустриялық Университеті, Теміртау, Қазақстан
*Автор-корреспондент e-mail: f.khamhoeva@ttu.edu.kz

Авторлар туралы ақпарат:

Хамхоева Ф.Б. - Қарағанды Индустриялық Университеті, Теміртау, Қазақстан. E-mail: f.khamhoeva@ttu.edu.kz

Меркулов В.В. - Қарағанды Индустриялық Университеті, Теміртау, Қазақстан.

Алмазов А.И. - Қарағанды Индустриялық Университеті, Теміртау, Қазақстан.

Ситдикова Е.В. - Қарағанды Индустриялық Университеті, Теміртау, Қазақстан.

Аңдатпа. Фармацевтикалық ғылымның дамуымен және қабыну процестерімен қатар жүретін аурулар санының артуымен қабынуға қарсы әсері бар белсенді фитокөпестер фармацевтикалық технология мен медицина саласындағы маңызды зерттеу нысанына айналууда. Қабыну көптеген созылмалы және жедел патологиялардың негізінде жатады, бұл оны түзету үшін тиімді әрі қауіпсіз құралдарды іздеудің қажеттілігін айқындайды. Синтетикалық қабынуға қарсы препараттар кеңінен қолданылғанына қарамастан, олардың пайдаланылуы жиі жанама әсерлермен шектеледі, осыған байланысты өсімдік тектес биологиялық белсенді заттарға қызығушылық артып отыр. Фитокөпестер көпбағытты әсер ету механизмімен және қауіпсіздік тұрғысынан неғұрлым қолайлы профілімен сипатталады. Соңғы жылдары тек дәрілік өсімдіктерді жалпы түрде ғана емес, қабынуға қарсы әсерді анықтайтын жекелеген белсенді көпестерді зерттеуге бағытталған ғылыми жұмыстардың саны көбейіп келеді. Аталған мақалада қабынуға қарсы әсері бар белсенді фитокөпестердің негізгі топтары,

олардың ерекшеліктері мен әсер ету механизмдері, сондай-ақ фармацевтикалық технологияда эксперименттік зерттеу және қолдану перспективалары қарастырылған.

Түйін сөздер: қабынуға қарсы әсер, фитокомпоненттер, биологиялық белсенді заттар, экстракция, фармацевтикалық технология.

ОБЗОР И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ АКТИВНЫХ ФИТОКОМПОНЕНТОВ С ПРОТИВОВОСПАЛИТЕЛЬНЫМ ДЕЙСТВИЕМ

***Хамхоева Ф.Б., Меркулов В.В., Алмазов А.И., Ситдикова Е.В.**

Қарағандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

**Автор-корреспондент e-mail: f.khamhoeva@tttu.edu.kz*

Информация об авторах:

Хамхоева Ф.Б. - Қарағандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан. E-mail: f.khamhoeva@tttu.edu.kz

Меркулов В.В. - Қарағандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан.

Алмазов А.И. - Қарағандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан.

Ситдикова Е.В. - Қарағандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан.

Аннотация. С развитием фармацевтической науки и ростом числа заболеваний, сопровождающихся воспалительными процессами, активные фитокомпоненты с противовоспалительным действием становятся важным объектом исследований в области фармацевтической технологии и медицины. Воспаление лежит в основе многих хронических и острых патологий, что обуславливает необходимость поиска эффективных и безопасных средств для его коррекции. Несмотря на широкое применение синтетических противовоспалительных препаратов, их использование часто ограничено побочными эффектами, что повышает интерес к биологически активным веществам растительного происхождения. Фитокомпоненты характеризуются многонаправленным механизмом действия и более благоприятным профилем безопасности. В последние годы увеличивается количество исследований, направленных на изучение не только лекарственных растений в целом, но и отдельных активных компонентов, определяющих противовоспалительный эффект. В данной статье рассмотрены основные группы активных фитокомпонентов с противовоспалительным действием, их особенности, механизмы действия, а также перспективы экспериментального исследования и применения в фармацевтической технологии.

Ключевые слова: противовоспалительное действие, фитокомпоненты, биологически активные вещества, экстракция, фармацевтическая технология.

НЕГІЗГІ ЕРЕЖЕЛЕР

Қабынуға қарсы әсері бар белсенді фитокомпоненттер қазіргі фармацевтикалық технологиядағы перспективалы зерттеу бағыттарының бірі болып табылады және синтетикалық қабынуға қарсы препараттарға қауіпсіз балама ретінде қарастырылады. Флавоноидтар, фенолдық қосылыстар, терпеноидтар, эфир майлары және басқа да өсімдік тектес биологиялық белсенді заттар қабыну медиаторларының белсенділігін реттеу және тотығу стрессін төмендету арқылы айқын қабынуға қарсы әсер көрсетеді. Белсенді фитокомпоненттердің тиімділігі оларды алу әдістеріне, экстракциялау параметрлеріне, химиялық құрамының тұрақтылығына және қолданылатын аналитикалық бақылау тәсілдеріне

тікелей тәуелді. Қабынуға қарсы әсері бар фитокомпоненттерді кешенді зерттеу, оларды стандарттау және заманауи фармацевтикалық технологияларда пайдалану жаңа тиімді әрі қауіпсіз дәрілік препараттарды әзірлеудің ғылыми негізін қалыптастырады.

КІРІСПЕ

Қабыну процестері тірек-қимыл аппаратының, тері, тыныс алу және жүрек-қантамыр жүйелерінің ауруларын қоса алғанда, көптеген патологиялардың дамуы мен үдеуінің негізгі себептерінің бірі болып табылады. Клиникалық тәжірибеде қабынуды басу үшін синтетикалық қабынуға қарсы препараттар кеңінен қолданылады, алайда оларды ұзақ уақыт қолдану шырышты қабықтардың тітіркенуі, аллергиялық реакциялар, ағзаның мүшелері мен

жүйелеріне уытты әсер ету сияқты жанама әсерлермен жиі қатар жүреді. Осыған байланысты қазіргі заманғы фармацевтикалық ғылымның өзекті міндеті – қабынуға қарсы терапияның анағұрлым қауіпсіз әрі тиімді баламалы құралдарын іздеу болып табылады.

Соңғы жылдары өсімдік тектес биологиялық белсенді заттарға деген қызығушылықтың тұрақты өсуі байқалуда. Фитокомпоненттер көпқырлы фармакологиялық әсерімен, салыстырмалы түрде төмен уыттылығымен және әртүрлі дәрілік түрлер құрамында қолдану мүмкіндігімен сипатталады. Әсіресе жергілікті қабынуға қарсы әсерді қамтамасыз ететін жұмсақ дәрілік түрлер құрамында өсімдіктен алынған белсенді компоненттерді пайдалану перспективалы бағыт болып саналады.

Әдеби дереккөздерді талдау көптеген зерттеулердің дәрілік өсімдіктерді тұтастай зерттеуге арналғанын, ал қабынуға қарсы әсерді анықтайтын жекелеген белсенді компоненттердің рөлі көбіне жеткілікті деңгейде ашылмайтынын көрсетеді. Сонымен қатар дәл осы флавоноидтар, фенолдық қосылыстар, терпеноидтар және басқа да биологиялық белсенді заттар сияқты жеке фитокомпоненттер қабыну процестерін тежеу механизмдерінде шешуші рөл атқарады. Олардың химиялық қасиеттерін, алу тәсілдерін және фармакологиялық әсер ету ерекшеліктерін зерттеу өсімдік тектес дәрілік құралдарды әзірлеуге неғұрлым ғылыми негізделген түрде қарауға мүмкіндік береді.

Жоғарыда айтылғандарға байланысты қабынуға қарсы фитокомпоненттер туралы мәліметтерді жүйелеуге және оларды эксперименттік тұрғыдан зерттеудің перспективаларын анықтауға бағытталған зерттеулер жүргізу өзекті болып табылады.

Осы мақаланың мақсаты – қабынуға қарсы әсері бар белсенді фитокомпоненттерді зерттеудің қазіргі жағдайын талдау, сондай-ақ оларды алу, зерттеу және фармацевтикалық технологияда қолдануға бағытталған эксперименттік бөлімнің негізгі бағыттарын негіздеу.

Қабынуға қарсы фитокомпоненттерді зерттеудің қазіргі жағдайы. Қазіргі уақытта өсімдік тектес қабынуға қарсы құралдарды зерттеу фармацевтикалық және медико-биологиялық ғылымда маңызды орын алады. Бұл қабыну ауруларының кең таралуымен және жоғары тиімділігі мен жанама әсерлері аз препараттарды әзірлеу қажеттілігімен байланысты. Биологиялық белсенді фитокомпоненттер синтетикалық қабынуға қарсы

құралдарға перспективалы балама немесе оларды толықтырушы ретінде қарастырылады.

Заманауи зерттеулердің негізгі бағыттарына өсімдік шикізатының химиялық құрамын зерттеу, жеке белсенді компоненттерді бөліп алу және олардың фармакологиялық белсенділігін бағалау жатады. Флавоноидтарға, фенолдық қосылыстарға, терпеноидтарға және өсімдіктердің басқа да екіншілік метаболиттеріне ерекше назар аударылады, себебі олар айқын қабынуға қарсы және антиоксиданттық қасиеттер көрсетеді. Ғылыми еңбектерде бұл қосылыстар қабыну процесінің негізгі буындарына әсер етіп, қабыну медиаторларының синтезін реттеуге және тотығу стрессін төмендетуге қабілетті екені атап өтіледі.

Қазіргі фармакологияда фитокомпоненттер кешенді өсімдік экстрактыларының құрамдас бөліктері ретінде ғана емес, терапиялық әсерді айқындайтын дербес белсенді заттар ретінде де қарастырыла бастады. Мұндай тәсіл әрбір компоненттің үлесін неғұрлым дәл бағалауға, дозалауды оңтайландыруға және фармакологиялық әсердің қайталанымдылығын арттыруға мүмкіндік береді. Әдеби деректерде жеке белсенді заттарды қолдану өсімдік тектес препараттарды стандарттауды күшейтіп, олардың сапасын бақылауды жақсартатынын көрсетіледі.

Соңғы жылдардағы ғылыми жарияланымдарды талдау дәрілік өсімдіктерді эмпирикалық қолданудан олардың белсенді компоненттерінің әсер ету механизмдерін ғылыми негізде зерттеуге көшу үрдісінің тұрақты екенін көрсетеді. Алдыңғы қатарлы зерттеулер фитокомпоненттердің химиялық құрылымы мен олардың қабынуға қарсы белсенділігі арасындағы өзара байланысты анықтауға, сондай-ақ оларды алудың және тұрақтандырудың тиімді әдістерін әзірлеуге бағытталған. Сонымен қатар белсенді заттардың биожетімділігі мен әртүрлі дәрілік түрлермен үйлесімділігі мәселелеріне де ерекше көңіл бөлінеді.

Осылайша, зерттеулердің қазіргі жағдайы қабынуға қарсы әсері бар белсенді фитокомпоненттерді зерттеудің жоғары өзектілігі мен перспективалылығын дәлелдейді. Әдеби деректерді жүйелеу және жекелеген белсенді компоненттерді әрі қарай эксперименттік тұрғыдан зерттеу жаңа фармацевтикалық құралдарды әзірлеуге және қолданыстағы технологияларды жетілдіруге негіз қалайды.

Қабынуға қарсы әсері бар белсенді фитокомпоненттердің жіктелуі. Қабынуға қарсы әсері бар белсенді фитокомпоненттер химиялық құрылымы, фармакологиялық әсер ету механизмі және қолдану ерекшеліктері бойынша айырмашылықтары бар биологиялық белсенді

1-кесте – Қабынуға қарсы әсері бар негізгі фитокомпоненттердің салыстырмалы сипаттамасы

Фитокомпоненттер тобы	Негізгі биологиялық әсері	Әсер ету механизмі	Артықшылықтары	Шектеулері
Флавоноидтар	Қабынуға қарсы, антиоксиданттық	СОХ және LOX ферменттерін тежеу, цитокиндердің түзілуін төмендету	Төмен уыттылық, жоғары биологиялық белсенділік	Биожетімділігі төмен болуы мүмкін
Фенолдық қосылыстар	Антиоксиданттық, қабынуға қарсы	Еркін радикалдарды бейтараптандыру, тотығу стрессін азайту	Жасушаларды қорғайды	Тұрақтылығы өңдеу жағдайына тәуелді
Терпеноидтар	Қабынуға қарсы, микробқа қарсы	Қабыну медиаторларының белсенділігін төмендету	Жергілікті дәрілік түрлерде тиімді	Ұшқыштығы жоғары
Эфир майлары	Қабынуға қарсы, антисептикалық	Жасушалық мембраналарға әсер ету	Жылдам әсер етеді	Концентрациясын бақылау қажет
Алкалоидтар	Қабынуға қарсы, анальгезиялық	Рецепторлық әсер ету механизмдері	Жоғары фармакологиялық белсенділік	Терапиялық аралығы тар
Капсаициноидтар	Қабынуға қарсы, ауырсынды басу	TRPV1 рецепторларын белсендіру	Созылмалы ауырсынуға тиімді	Жергілікті тітіркендіруі мүмкін

заттардың әртекті тобы болып табылады. Ғылыми әдебиеттерде өсімдік тектес препараттардың қабынуға қарсы әсерін қалыптастыруда негізгі үлес қосатын флавоноидтар мен фенолдық қосылыстарға, терпеноидтар мен эфир майларына, сондай-ақ алкалоидтар мен капсаициноидтарға ерекше назар аударылады. Қабынуға қарсы әсері бар белсенді фитокомпоненттер химиялық табиғаты, әсер ету механизмі және фармакологиялық қасиеттері бойынша бір-бірінен ерекшеленеді. Олардың негізгі сипаттамаларын, артықшылықтарын мен

шектеулерін жүйелеу мақсатында 1-кесте ұсынылды.

1-кестеде көрсетілгендей, фитокомпоненттердің әрбір тобы өзіндік химиялық ерекшеліктерімен және фармакологиялық әсерімен сипатталады. Флавоноидтар мен фенолдық қосылыстар айқын антиоксиданттық қасиеттерімен ерекшеленсе, терпеноидтар мен эфир майлары жергілікті қабынуға қарсы әсерімен кеңінен қолданылады. Ал алкалоидтар мен капсаициноидтар жоғары биологиялық белсенділігімен ерекшеленгенімен, оларды қолдану кезінде қауіпсіздік талаптарын қатаң сақтау қажет. Сондықтан фитокомпоненттерді таңдау олардың химиялық қасиеттеріне, дәрілік түріне және клиникалық қолданылу мақсатына сәйкес жүзеге асырылуы тиіс.

Флавоноидтар мен фенолдық қосылыстар фитокомпоненттердің ең көп зерттелген топтарының бірі болып саналады. Олар өсімдік шикізатында кең таралған және айқын антиоксиданттық қасиеттерімен сипатталады. Бұл қосылыстардың қабынуға қарсы әсері қабыну медиаторларының синтезіне қатысатын ферменттік жүйелерді тежеу қабілетімен, сондай-ақ бос радикалды процестердің қарқындылығын төмендетуімен байланысты. Әдеби деректерде аталған қосылыстардың салыстырмалы түрде төмен уыттылығы және әртүрлі дәрілік түрлермен жақсы үйлесімділігі көрсетіледі, алайда олардың практикалық қолданылуы төмен биожетімділікпен және жарық, температура, тотығу сияқты сыртқы факторларға сезімталдығымен шектелуі мүмкін. Бұл экстракциялау және тұрақтандыру шарттарын оңтайландыруды талап етеді.

Терпеноидтар мен эфир майлары айқын жергілікті қабынуға қарсы әсерге ие қосылыстар тобына жатады. Олардың фармакологиялық белсенділігі жасушалық мембраналарға әсер етуімен және тіндік деңгейде қабыну реакцияларын реттеуімен байланысты. Бұл фитокомпоненттер терапиялық әсердің жылдам дамуын қамтамасыз ету қабілетіне байланысты сыртқа қолданылатын дәрілік түрлер құрамында кеңінен пайдаланылады. Сонымен қатар ғылыми дереккөздерде терпенді қосылыстардың концентрациясын қатаң бақылау қажеттілігі атап өтіледі, себебі оңтайлы мөлшерден асып кеткен жағдайда олар тітіркендіргіш әсер көрсетуі мүмкін және сақтау кезінде тұрақтылығы шектеулі болып келеді.

Алкалоидтар мен капсаициноидтар жоғары биологиялық белсенділігімен және айқын

фармакологиялық әсерімен ерекшеленетін фитокомпоненттерге жатады. Олардың қабынуға қарсы әсері көбіне анальгезиялық әсермен қатар жүреді және рецепторлық механизмдер мен жүйке ұштарына әсер етуімен байланысты. Фармацевтикалық тәжірибеде бұл қосылыстар негізінен сыртқа қолдануға арналған жұмсақ дәрілік түрлер құрамында қолданылады. Сонымен бірге алкалоидтар мен капсаициноидтарға тар терапиялық диапазон тән екені көрсетіледі, бұл дайын дәрілік түрлердегі белсенді заттардың мөлшерін қатаң бақылауды талап етеді.

Осылайша, әдеби деректерді талдау белсенді фитокомпоненттердің әрбір тобына тән өзіндік фармакологиялық қасиеттер мен қолдану ерекшеліктері бар екенін көрсетеді. Бұл қабынуға қарсы әсері бар дәрілік құралдарды әзірлеу барысында оларды таңдауға, зерттеуге және пайдалануға дифференцияланған әрі ғылыми негізделген тәсілдің қажеттілігін айқындайды.

Белсенді фитокомпоненттерді алу және зерттеу әдістері. Қабынуға қарсы әсері бар белсенді фитокомпоненттерді зерттеудің заманауи жұмыстарында оларды алудың ұтымды әдістерін таңдау мен кейінгі аналитикалық бақылауға ерекше мән беріледі. Биологиялық белсенді заттарды экстракциялау тиімділігі көбіне қосылыстардың физика-химиялық қасиеттеріне, қолданылатын еріткіштің табиғатына және процесті жүргізу жағдайларына байланысты анықталады. Ғылыми әдебиеттерде экстракциялау әдістемесін дұрыс таңдау мақсатты компоненттердің шығымын арттыруға және олардың биологиялық белсенділігін сақтауға мүмкіндік беретіні атап көрсетіледі.

Белсенді фитокомпоненттерді алудың ең кең таралған тәсілдерінің бірі – спирттік және су-спирттік еріткіштерді қолдана отырып экстракциялау. Еріткішті таңдау оның қабынуға қарсы әсері бар заттардың басым бөлігін құрайтын полярлы және орташа полярлы қосылыстарды тиімді бөліп алу қабілетімен негізделеді. Еріткіштің концентрациясы, шикізат пен экстрагенттің арақатынасы, экстракциялау температурасы мен ұзақтығы алынатын экстракттардың сандық және сапалық құрамына айтарлықтай әсер етеді. Аталған параметрлерді оптимизациялау процестің тиімділігі мен қайталанымын арттыруға бағытталған зерттеудің маңызды кезеңі ретінде қарастырылады.

Экстракттардың құрамын зерттеу және белсенді компоненттердің мөлшерін бағалау үшін физика-химиялық талдау әдістері кеңінен қолданылады. Спектрофотометриялық әдістер биологиялық белсенді заттардың жекелеген

топтарының жалпы мөлшерін сандық анықтауға мүмкіндік беріп, алынған үлгілерді салыстырмалы түрде талдауға қолайлы. Ал хроматографиялық әдістер экстракттардың құрамын неғұрлым терең сипаттауға және жекелеген белсенді қосылыстарды сәйкестендіруге мүмкіндік береді. Бұл әдістердің қолданылуы олардың жоғары сезімталдығымен, қайталанымымен және фармацевтикалық зерттеулерде кеңінен пайдаланылуымен негізделеді.

Аталған белсенді фитокомпоненттерді алу және зерттеу әдістерін таңдау олардың ғылыми зерттеулерде кең таралуымен, фармакопоялық және аналитикалық стандарттардың талаптарына сәйкестігімен, сондай-ақ алынған деректерді қабынуға қарсы әсері бар жұмсақ дәрілік түрлерді әзірлеу барысында әрі қарай қолдану мүмкіндігімен айқындалады. Экстракцияның ұтымды әдістері мен аналитикалық бақылауды біріктіретін кешенді тәсіл жүргізілетін зерттеудің ғылыми негізділігін және практикалық маңыздылығын қамтамасыз етеді.

Зерттеуде қолданылатын дәрілік өсімдіктердің сипаттамасы. Осы зерттеу аясында қабынуға қарсы әсері бар белсенді фитокомпоненттерді зерттеу үшін медициналық және фармацевтикалық тәжірибеде кеңінен қолданылатын дәрілік өсімдіктер таңдалды. Зерттеу нысандарын таңдау олардың құрамында қабынуға қарсы әсері дәлелденген биологиялық белсенді заттардың болуымен, сондай-ақ жұмсақ дәрілік түрлер құрамында қолдануға перспективалы экстракттар алу мүмкіндігімен негізделеді. Зерттелетін өсімдіктер қатарына тимьян, череда, алоэ және календула жатады.

Тимьян айқын қабынуға қарсы және антисептикалық қасиеттерге ие дәрілік өсімдік болып табылады. Тимьянның биологиялық белсенділігі оның құрамындағы эфир майлары, флавоноидтар және фенолдық қосылыстармен байланысты, олар қабыну медиаторларының белсенділігін тежеуге және қабыну процестерінің айқындылығын төмендетуге қабілетті. Ғылыми зерттеулерде тимьян экстракттарының сыртқа қолданғанда тиімділігі атап өтіледі, бұл оны қабынуға қарсы дәрілік түрлерді әзірлеу үшін белсенді фитокомпоненттердің перспективалы көзі ретінде қарастыруға мүмкіндік береді. Череда дәстүрлі түрде терінің қабыну аурулары мен аллергиялық жағдайларда қолданылады. Бұл өсімдіктің фармакологиялық белсенділігі қабынуға қарсы және аллергияға қарсы әсерге ие флавоноидтар, фенолдық қышқылдар және илік заттардың болуымен байланысты. Череда экстракттары жұмсақ, бірақ тұрақты

фармакологиялық әсерімен және жақсы көтерімділігімен сипатталады, бұл оларды фармацевтикалық зерттеулерде қолданудың мақсатқа сәйкестігін негіздейді. Алоэ – биологиялық белсенділігінің кең спектрімен ерекшеленетін, ең көп зерттелген дәрілік өсімдіктердің бірі. Алоэнің негізгі белсенді компоненттері полисахаридтермен, фенолдық қосылыстармен және басқа да биологиялық белсенді заттармен ұсынылған, олар қабынуға қарсы және регенерациялаушы әсерді қамтамасыз етеді. Алоэ экстракттары гельдер мен майлар құрамында кеңінен қолданылады, бұл оны қабынуға қарсы әсері бар жұмсақ дәрілік түрлерді әзірлеуде пайдаланудың перспективалылығын растайды.

Календула айқын қабынуға қарсы және жара жазатын әсерінің арқасында медициналық тәжірибеде кеңінен қолданылады. Календула биологиялық белсенділігі флавоноидтардың, тритерпенді қосылыстардың және каротиноидтардың болуымен түсіндіріледі, олар қабыну реакцияларын төмендетуге және тіндердің регенерация процесін жеделдетуге ықпал етеді. Календула экстракттары жақсы көтерімділігімен және тұрақтылығымен сипатталады, бұл аталған өсімдікті фармацевтикалық зерттеулер үшін құнды нысан етеді.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы қабынуға қарсы әсері бар белсенді фитокомпоненттерді фармацевтикалық технология тұрғысынан жүйелі түрде талдауымен және олардың химиялық табиғаты, әсер ету механизмдері, экстракциялау ерекшеліктері мен фармакологиялық әлеуеті жөніндегі заманауи ғылыми деректерді кешенді жинақтауымен сипатталады. Әдебиеттерді салыстырмалы талдау негізінде қабынуға қарсы белсенділікті қамтамасыз ететін негізгі фитокомпоненттер топтары жүйеленіп, оларды эксперименттік зерттеу мен дәрілік препараттарды әзірлеуде қолданудың басым бағыттары айқындалды. Сонымен қатар, белсенді фитокомпоненттерді бөліп алу, стандарттау және аналитикалық бағалау әдістерінің артықшылықтары мен шектеулеріне ғылыми талдау жүргізіліп, олардың тиімділігін арттырудың перспективалы бағыттары ұсынылды. Бұл нәтижелер қабынуға қарсы әсері бар жаңа өсімдік тектес дәрілік препараттарды әзірлеуге арналған кейінгі эксперименттік зерттеулердің әдіснамалық негізін қалыптастырады.

Практикалық маңыздылығы. Зерттеу нәтижелері қабынуға қарсы әсері бар белсенді фитокомпоненттерді зерттеу, стандарттау және фармацевтикалық технологияда пайдалану бойынша ғылыми және тәжірибелік жұмыстарды жоспарлау кезінде қолданылуы мүмкін. Жүйеленген мәліметтер перспективалы дәрілік өсімдік шикізатын таңдауға, тиімді экстракциялау әдістерін негіздеуге, белсенді заттарды аналитикалық бағалауға және қабынуға қарсы әсері бар жұмсақ дәрілік түрлердің құрамын оңтайландыруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, мақала материалдары фармацевтикалық технология, фармакогнозия және дәрілік заттар технологиясы бағыттарында білім алатын студенттерге, магистранттарға, докторанттарға және ғылыми қызметкерлерге оқу-әдістемелік әрі ғылыми ақпараттық ресурс ретінде пайдалануға ұсынылады.

ЗЕРТТЕУДІҢ ЭКСПЕРИМЕНТТІК БӨЛІГІНІҢ БАҒЫТТАРЫ

Зерттеудің эксперименттік бөлігі қабынуға қарсы әсері бар белсенді фитокомпоненттерді тереңірек зерттеуге бағытталады және оларды алу, зерттеу әрі фармацевтикалық технологияда практикалық қолдану мәселелерін қамтиды. Бірінші кезеңде әдеби деректерді талдау негізінде перспективалы белсенді компоненттерді ғылыми тұрғыдан негізделген түрде таңдау көзделеді. Бұл ретте олардың химиялық табиғаты, қабынуға қарсы әсерінің айқындылығы және дәрілік түрлер құрамында практикалық қолдану мүмкіндігі ескеріледі.

Келесі зерттеу кезеңі таңдалған белсенді заттарды экстракциялау әдістемесін әзірлеу және оңтайландыруға бағытталады. Экстракциялық процестің тиімділігіне айтарлықтай әсер ететін еріткішті таңдау, экстрагент концентрациясы, шикізат пен еріткіштің арақатынасы, сондай-ақ процесті жүргізу шарттарына ерекше назар аудару жоспарланып отыр. Экстракциялау шарттарын оңтайландыру алынатын нәтижелердің қайталанымдылығын қамтамасыз етуге және биологиялық белсенді заттардың бөліну тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Экстракттарды алғаннан кейін олардың физика-химиялық қасиеттерін зерттеу, соның ішінде сыртқы түрін, ерігіштігін, тұрақтылығын және белсенді компоненттерінің мөлшерін бағалау жүргізіледі. Аналитикалық зерттеулер мақсатты фитокомпоненттердің бар-жоғын растауға және алынған үлгілерді салыстырмалы түрде бағалауға бағытталады. Бұл кезеңнің нәтижелері әрі қарай қолдану үшін ең

перспективалы экстракттарды анықтауға мүмкіндік береді.

Эксперименттік бөлімнің қорытынды кезеңінде алынған экстракттар негізінде қабынуға қарсы әсері бар жұмсақ дәрілік түрлерді әзірлеу жоспарланады. Құрамды таңдау және дайындау технологиясы белсенді компоненттердің физика-химиялық қасиеттерін және дайын дәрілік түрлерге қойылатын фармако-технологиялық талаптарды ескере отырып жүзеге асырылады. Әзірленетін үлгілердің тиімділігін бағалау тұрақтылық, біртектілік және белгіленген сапа талаптарына сәйкестік сияқты критерийлер кешені негізінде жүргізіледі.

Осылайша, ұсынылған зерттеудің эксперименттік бөлігі кешенді сипатқа ие және қабынуға қарсы әсері бар дәрілік құралдарды әзірлеу мен жетілдіруде қолдануға болатын ғылыми негізделген деректер алуға бағытталған.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы және практикалық маңыздылығы

Осы зерттеудің ғылыми жаңалығы қабынуға қарсы әсері бар белсенді фитокомпоненттерді зерттеуге жүйелі тәсілді қолдануымен айқындалады, мұнда талдау нысаны ретінде дәрілік өсімдіктер тұтастай емес, фармакологиялық әсерді айқындайтын жекелеген биологиялық белсенді заттар қарастырылады. Кешенді өсімдік экстракттарына бағытталған көптеген қолданыстағы еңбектерден айырмашылығы, бұл мақалада жеке фитокомпоненттердің химиялық табиғатын, әсер ету механизмдерін және эксперименттік зерттеу перспективаларын талдауға басымдық берілген. Мұндай тәсіл қабынуға қарсы әсердің қалыптасуында жекелеген қосылыстардың үлесін неғұрлым дәл бағалауға және өсімдік тектес дәрілік құралдарды әзірлеудің ғылыми негізділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Зерттеудің жаңалығы сондай-ақ белсенді фитокомпоненттердің жіктелуі, оларды алу және зерттеу әдістері бойынша заманауи әдеби деректерді фармацевтикалық технология тұрғысынан жинақтау және жүйелеумен байланысты. Жүргізілген талдау зерттеулердің өзекті бағыттарын анықтауға, сондай-ақ әрі қарай эксперименттік зерттеуге ең перспективалы белсенді заттар топтарын айқындауға мүмкіндік береді. Экстракциялау әдістерін және аналитикалық бақылауды таңдауды негіздеуге ерекше көңіл бөлінуі диссертациялық зерттеудің келесі эксперименттік кезеңдері үшін әдіснамалық негіз қалыптастырады.

Жұмыстың практикалық маңыздылығы алынған нәтижелерді қабынуға қарсы әсері бар жұмсақ дәрілік түрлерді әзірлеуге бағытталған эксперименттік зерттеулерді жоспарлау және

жүргізу барысында қолдану мүмкіндігімен сипатталады. Белсенді фитокомпоненттердің қасиеттері мен оларды алу ерекшеліктері туралы жүйеленген деректер технологиялық параметрлерді ұтымды таңдауда және дәрілік түрлердің құрамын оңтайландыруда пайдаланылуы мүмкін. Сонымен қатар мақала материалдары фармацевтикалық технология саласындағы студенттер мен мамандар үшін қызығушылық тудырып, оқу үдерісінде және ғылыми-зерттеу қызметінде қолдануға жарамды.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ТАЛҚЫЛАУ

Заманауи ғылыми жарияланымдарды талдау нәтижесінде қабынуға қарсы әсері бар белсенді фитокомпоненттерді зерттеу фармацевтикалық және медико-биологиялық ғылымның басым бағыттарының бірі екені анықталды. Көптеген авторлар өсімдік тектес биологиялық белсенді заттардың қабыну процесінің негізгі буындарына тиімді әсер ете алатынын және синтетикалық қабынуға қарсы препараттармен салыстырғанда қауіпсіздік профилі анағұрлым қолайлы екенін атап өтеді.

Әдеби деректерді талдау ғылыми зерттеулерде флавоноидтарға, фенолдық қосылыстарға және терпеноидтарға ерекше көңіл бөлінетінін көрсетеді, себебі бұл қосылыстар айқын қабынуға қарсы және антиоксиданттық әсерге ие. Әртүрлі авторлардың еңбектерінде аталған қосылыстардың қабыну медиаторларының синтезін тежеуге, тотығу стрессінің деңгейін төмендетуге және жасушалық мембраналарды тұрақтандыруға қабілетті екені көрсетіледі. Сонымен қатар фитокомпоненттердің тиімділігі олардың химиялық құрылымына, концентрациясына және алу тәсіліне айтарлықтай дәрежеде тәуелді екені атап өтіледі.

Жарияланымдарды салыстырмалы талдау зерттеулердің едәуір бөлігі кешенді өсімдік экстракттарын зерттеуге бағытталғанын, ал жекелеген белсенді компоненттердің әсері туралы деректердің үзік-үзік сипатта болатынын көрсетеді. Бұл қабынуға қарсы әсердің қалыптасуында жеке заттардың үлесін объективті бағалауды қиындатады және алынған нәтижелердің қайталанымдылығын төмендетеді. Осыған байланысты әдебиеттерде стандартталған экстракциялау және талдау әдістерін қолдана отырып, жеке фитокомпоненттерді неғұрлым терең зерттеу қажеттілігі жиі атап өтіледі.

Алынған деректерді талқылау белсенді фитокомпоненттерді алу әдісін таңдау олардың сандық және сапалық құрамына, сондай-ақ

фармакологиялық әсерінің айқындылығына елеулі ықпал ететінін көрсетеді. Авторлар экстракциялау шарттарын оңтайландыру және заманауи аналитикалық әдістерді қолдану зерттеулердің дәлдігін арттыруға және нәтижелердің салыстырмалылығын қамтамасыз етуге мүмкіндік беретінін атап өтеді. Сонымен қатар әдебиеттерде жергілікті қабынуға қарсы әсер мен қолдану қолайлылығын қамтамасыз ететін жұмсақ дәрілік түрлер құрамында белсенді фитокөмірлерді қолданудың перспективалылығы көрсетіледі.

Осылайша, ғылыми дереккөздерді талдау нәтижелері таңдалған зерттеу бағытының өзектілігін растайды және қабынуға қарсы әсері бар белсенді фитокөмірлерді әрі қарай эксперименттік тұрғыдан зерттеудің мақсатқа сай екенін негіздейді. Алынған қорытындылар заманауи зерттеулердің деректерімен үйлеседі және өсімдік тектес дәрілік құралдарды әзірлеу мен жетілдіруге бағытталған кейінгі эксперименттік кезеңдерді жүргізуге негіз қалайды.

ҚОРЫТЫНДЫЛАР

Заманауи ғылыми жарияланымдарды талдау нәтижесінде қабынуға қарсы әсері бар белсенді фитокөмірлерлер фармацевтикалық технология және өсімдік тектес дәрілік құралдарды әзірлеу саласындағы зерттеулердің перспективалы бағыты болып табылатыны анықталды. Өсімдік тектес биологиялық белсенді заттардың қабыну процесінің негізгі механизмдеріне әсер ету қабілетіне ие екені және синтетикалық қабынуға қарсы препараттармен салыстырғанда қауіпсіздік профилінің неғұрлым қолайлы екені көрсетілді.

Әдеби деректерді жинақтау флавоноидтар, фенолдық қосылыстар, терпеноидтар және басқа да белсенді фитокөмірлерлердің қабынуға қарсы әсердің қалыптасуына негізгі үлес қосатынын дәлелдейді. Сонымен қатар зерттеулердің басым бөлігі кешенді өсімдік экстракттарын зерттеуге бағытталғаны, ал жекелеген белсенді компоненттердің рөлі жеткілікті деңгейде жүйеленбегені анықталды, бұл таңдалған тақырыптың өзектілігін айқындайды.

Фитокөмірлерлерді алу және оларды аналитикалық зерттеу әдістерін таңдау олардың сандық және сапалық құрамына, сондай-ақ алынған нәтижелердің қайталанымдылығына

елеулі әсер ететіні көрсетілді. Экстракциялау шарттарын оңтайландыру және заманауи физика-химиялық талдау әдістерін қолдану белсенді компоненттерді әрі қарай эксперименттік тұрғыдан зерттеудің қажетті шарттары болып табылады.

Мақалада алынған қорытындылар зерттеудің ғылыми жаңалығы мен практикалық маңыздылығын растайды және белсенді фитокөмірлерлер негізінде қабынуға қарсы әсері бар жұмсақ дәрілік түрлерді әзірлеуге бағытталған келесі эксперименттік жұмыстарды жүргізудің мақсатқа сай екенін негіздейді.

Мүдделер қақтығысы. Авторлар осы зерттеуді орындау және мақаланы жариялау барысында мүдделер қайшылығы жоқ екенін мәлімдейді.

Авторлардың үлесін көрсету (таксономия CRediT): **Ф.Б. Хамхоева** – зерттеу тұжырымдамасын әзірлеу, зерттеу мақсатын айқындау, ғылыми әдебиеттерді талдау, мақаланың құрылымын әзірлеу, нәтижелерді жүйелеу және мақаланың бастапқы нұсқасын дайындау. **В.В. Меркулов** – зерттеу әдіснамасын қалыптастыру, фитокөмірлерлердің жіктелуін ғылыми талдау, нәтижелерді интерпретациялау және мақаланы ғылыми редакциялау. **А.И. Алмазов** – белсенді фитокөмірлерлерді алу және зерттеу әдістерін талдау, эксперименттік бөлімнің тұжырымдамасын әзірлеу, нәтижелерді талқылауға қатысу және мақаланы рецензиялау. **Е.В. Ситдикова** – ғылыми ақпаратты жинақтау, әдебиеттерді талдау, мақаланы рәсімдеу, қорытындыларды нақтылау және жариялауға дайындауға қатысу. Барлық авторлар мақаланың соңғы нұсқасымен танысып, оны жариялауға мақұлдады және зерттеу нәтижелерінің дұрыстығына ортақ жауапкершілік алады.

Қаржыландыру. Зерттеу сыртқы қаржыландырусыз орындалды.

Авторлық құқық © 2026 автор(лар)ға тиесілі. Бұл мақала Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0) лицензиясы бойынша ашық қолжетімді болып табылады. Лицензия түпнұсқа еңбекке тиісті түрде сілтеме жасалған жағдайда, кез келген ортада пайдалануға, таратуға және қайта жариялауға рұқсат береді. Туынды материалдар осы лицензияның дәл осындай шарттарымен таратылуы тиіс.

ПАЙДАЛАНЫЛГАН ДЕРЕККӨЗДЕР ТІЗІМІ

- [1] Иванов В.В., Смирнова А.Н., Кузнецова Е.П. Противовоспалительные свойства биологически активных веществ растительного происхождения. – Фармация, 2022. – Т.71. – №6. – С. 45–52.
- [2] Петрова Л.А., Соколова М.Д. Фитохимические основы разработки лекарственных средств растительного происхождения. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2021. – 384 с.
- [3] Williams C.A., Grayer R.J. Flavonoids and their anti-inflammatory activity. – *Journal of Natural Products*, 2019. – Vol. 82, No. 4. – P. 1045–1057.
- [4] Sharma J.N., Al-Omran A., Parvathy S.S. Role of plant-derived compounds in inflammation and pain management. – *Inflammopharmacology*, 2018. – Vol. 26. – P. 1–15.
- [5] Захарова Н.В., Орлова Т.А. Флавоноиды как перспективные противовоспалительные агенты. – *Химико-фармацевтический журнал*, 2020. – Т.54. – №9. – С. 28–35.

REFERENCES

- [1] V.V. Ivanov, A. N. Smirnova, and E. P. Kuznetsova, “Anti-inflammatory properties of biologically active substances of plant origin,” *Pharmatsiya (Pharmacy)*, vol. 71, no. 6, pp. 45–52, 2022.
- [2] L.A. Petrova and M. D. Sokolova, *Phytochemical Foundations for the Development of Medicinal Products of Plant Origin*. Moscow, Russia: GEOTAR-Media, 2021.
- [3] C. A. Williams and R. J. Grayer, “Flavonoids and Their Anti-inflammatory Activity,” *Journal of Natural Products*, vol. 82, no. 4, pp. 1045–1057, 2019.
- [4] J. N. Sharma, A. Al-Omran, and S. S. Parvathy, “Role of Plant-Derived Compounds in Inflammation and Pain Management,” *Inflammopharmacology*, vol. 26, pp. 1–15, 2018.
- [5] N. V. Zakharova and T. A. Orlova, “Flavonoids as Promising Anti-inflammatory Agents,” *Chemical and Pharmaceutical Journal*, vol. 54, no. 9, pp. 28–35, 2020.

МАЗМУНЫ / СОДЕРЖАНИЕ / CONTENTS

MECHANICAL ENGINEERING, TECHNOLOGICAL MACHINES AND TRANSPORT, CONSTRUCTION

Zhunosov Zh.A., Arbi Y.

VARIABLE THERMAL INTERFACES BASED ON DISCRETE LIQUID DROPLETS..... 5

ИТ-ТЕХНОЛОГИИ, ЭНЕРГЕТИКА, АВТОМАТИЗАЦИЯ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Алгазин А.Ш., Калинин А.А., Баширов А.В.

ИНТЕГРАЦИЯ БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМУ ПЕРЕДАЧИ ПОЕЗДНЫХ
ДАННЫХ И ОТЧЁТНОСТИ..... 12

Батырбек Ә.Е., Сивякова Г.А., Тытйук В.К., Мамиров У.Ф.

ЫСТЫҚ ИЛЕМДЕУ ОРНАҒЫНЫҢ ҰШҚЫР ҚАЙШЫЛАРЫНЫҢ ҚҰРЫЛЫМЫ МЕН
ЭЛЕКТР ЖЕТЕГІНІҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ..... 20

Жамел И.А., Смагулова А.С.

ГИБРИДНЫЕ АНСАМБЛЕВЫЕ МОДЕЛИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ
СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ ЛОЖНОПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ СРАБАТЫВАНИЙ (FALSE
POSITIVE RATE, FPR) ПРИ ОБНАРУЖЕНИИ МОШЕННИЧЕСТВА В ФИНАНСОВЫХ
ТРАНЗАКЦИЯХ..... 30

Мубаракова А.Е.

КЛАССИФИКАЦИЯ МУЗЫКАЛЬНЫХ ЖАНРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ
МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ..... 37

Кулешов К.И., Козай Г.Д., Калинин А.А.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН В ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ
СФЕРЕ 42

Куцев М.А., Козай Г.Д., Калинин А.А.

РАЗРАБОТКА ЕДИНОЙ SCADA/OPC UA-ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ
КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ..... 49

Авдеенко М.В., Мутовина Н.В.

ИНТЕГРАЦИЯ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫХ ДАННЫХ В МОДЕЛИ СЕМАНТИЧЕСКОЙ
СЕГМЕНТАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ 61

Tomilova N.I., Nabawi R.A., Kozhanov M.G., Kassymova G.K., Gaini A.S.

DEVELOPMENT OF A HYBRID AI-BASED CAREER GUIDANCE SYSTEM..... 69

Цой М.В., Томилова Н.И.

ИНЖИНИРИНГ ПРИЗНАКОВ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВАЛЮТНЫХ ПАР:
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ИНДИКАТОРОВ КАК ВХОДНЫХ
ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ИИ..... 77

Kharin E.V., Azman M.N.A.

THE PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF QUANTUM COMPUTERS AND THEIR
IMPACT ON MODERN SCIENCE AND TECHNOLOGY..... 83

Sekerbaev A.T.

CLASSIFICATION OF WATER TRANSPARENCY (TURBIDITY) BY LEVEL BASED ON
DEEP LEARNING..... 89

ЭКОНОМИКА. ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ, СОЦИАЛЬНО-ГУМАНИТАРНЫЕ И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ДИСЦИПЛИНЫ

<i>Ибраев Б.С., Татиева М.М., Петровская А.С., Акмаганбетова А.С., Нурғалиева А.К.</i> АНАЛИЗ И ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОПЕРАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНОЙ КОМПАНИИ В УСЛОВИЯХ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ НЕСТАБИЛЬНОСТИ.....	95
<i>Айтышев Н.Б., Какенов М.А., Татиева М.М., Акмаганбетова А.С., Нурғалиева А.К.</i> СОВРЕМЕННЫЕ ВЫЗОВЫ И НАПРАВЛЕНИЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРАВОВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОРПОРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ В МЕДИЦИНСКОМ СЕКТОРЕ...	104
<i>Тағай А.А., Силаева О.В., Татиева М.М., Акмаганбетова А.С., Нурғалиева А.К.</i> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-УПРАВЛЕНЧЕСКИХ МЕХАНИЗМОВ РАБОТЫ С ПРОБЛЕМНОЙ ЗАДОЛЖЕННОСТЬЮ ФИЗИЧЕСКИХ ЛИЦ В КОММЕРЧЕСКИХ БАНКАХ: ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.....	110
<i>Дарыбаев Б., Сәрсенханқызы Т., Төлеухан А.Т., Жұмабек Ө.</i> БАЛАЛАР МЕН ЖАСӨСПІМДЕРДЕ ТІРЕК-ҚИМЫЛ ЖҮЙЕСІНІҢ ДҰРЫС ҚАЛЫПТАСУЫН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУДІҢ ҒЫЛЫМИ НЕГІЗДЕРІ.....	118
<i>Какенов М.А., Айтышев Н.Б., Саулетов Е.С., Татиева М.М., Акмаганбетова А.С.</i> ПРАКТИКА РЕАЛИЗАЦИИ ИНТЕГРИРОВАННОЙ МОДЕЛИ САНИТАРНО- ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ.....	124
<i>Саулетов Е.С., Айтышев Н.Б., Татиева М.М., Акмаганбетова А.С., Нурғалиева А.К.</i> ПРАКТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОПТИМИЗАЦИИ МЕХАНИЗМОВ КОРПОРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ САНИТАРНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН.....	131
<i>Turabaeva M.B., Turgumbayeva G.T., Hijriani H., Baimuratov R.B.</i> MORTGAGE LENDING IN KAZAKHSTAN: CURRENT TRENDS, CHALLENGES, AND FUTURE DEVELOPMENT PROSPECTS.....	139
<i>Турабаева М.Б., Темирбаев А.Т.</i> ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНДАҒЫ ҚҰРЫЛЫС БАҚЫЛАУ ЖҮЙЕСІН ЦИФРЛЫҚ ЖАҢҒЫРТУ: ЗАМАНАУИ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ШЕШІМДЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ НӘТИЖЕЛІЛІГІ.....	146

ХИМИЧЕСКИЕ И ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

<i>Lavrentieva A.E., Chernysheva A.A., Al Azzam K.M., Lekhtmetz V.L., Kornev V.V.</i> ANALYSIS OF SPECIFIC HAZARDS OF CONFECTIONERY PRODUCTION.....	152
<i>Хамхоева Ф.Б., Меркулов В.В., Алмазов А.И., Ситдиқова Е.В.</i> ҚАБЫНУҒА ҚАРСЫ ӘСЕРІ БАР БЕЛСЕНДІ ФИТОКОМПОНЕНТТЕРДІ ЗЕРТТЕУДІҢ ШОЛУЫ МЕН ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ.....	158

Ответственный секретарь: Солтан А.

Технический редактор: Носов В.Г.

Компьютерная верстка: Чванов В.Е.

05.03.2026 ж. бастап басылып шығарылады. Пішімі 60x84 1/8. Кітап-журнал қағазы
Көлемі 10.56. шартты баспа табағы. Таралымы 500 дана
ҚарИУ Маркетинг, медиа және креативті технологиялар департаменті
Тапсырыс № 3288. Индекс 74946

Дата выхода 05.03.2026 г. Формат 60x84 1/8. Бумага книжно-журнальная
Объем 10.56. усл.печ.листов. Тираж 500 экз.
Департамент маркетинга, медиа и креативных технологий КарИУ
Заказ № 3288. Индекс 74946
